

FORM NO. 51-61
MAY 1949

Approved For Release 2002/01/16 : CIA-RDP83-00415R005200010004-8

CLASSIFICATION SECRET

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

REPORT NO. [REDACTED]

INFORMATION REPORT

CD NO.

COUNTRY Germany (Russian Zone)

DATE DISTR. 19 May 1950

SUBJECT OSW Electron Multiplier Photo Tube, Type 2144

NO. OF PAGES

PLACE ACQUIRED 25X1A [REDACTED]

NO. OF ENCLS. 2 (6 photostats)
(LISTED BELOW)

DATE OF INFO ACQUIRED [REDACTED]

25X1X

SUPPLEMENT TO
REPORT NO.

1. ✓ Enclosed are photostated technical data concerning OSW electron multiplier photo tube type 2144, OSW Blueprint No. R-74, as well as photostats of the testing instructions for the same tube. 2
2. This report is sent to you for retention in the belief that it may be of interest to you.

25X1A

THIS DOCUMENT HAS AN ENCLOSURE ATTACHED.
DO NOT DETACH

to Ly

TD
15-01

OSW 2144

Blatt 1 von 2 Blatt

Fotoselle mit 10-stufiger Vervielfachung des Elektronenstromes durch Prallgitter.

Kathode:

Cäsium Antimon

- 1) Gesamtspannung: $U_{\text{max}} = 2500 \text{ V}$
- 2) Stufenspannung: $U_{\text{Teil}} \text{ ca } 190 \text{ V}$
- 3) Anodenstrom: $I_{\text{a max}} = 1 \text{ mA}$
- 4) Empfindlichkeit
der Fotokathode:
(gemessen bei 2360°
absoluter Farbtempe-
ratur des Fadens der
geeichten Glühlampe) $E_{\text{min}} = 15, \mu\text{A/Lm}$
- 5) Verstärkungsfaktor bei
ca 190 V Stufenspannung: $V = 1 \cdot 10^4$
- 6) Betriebstemperatur: $T_{\text{max}} = 50^\circ \text{ C}$

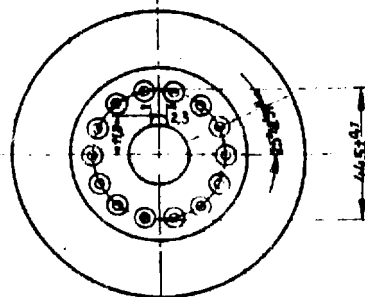
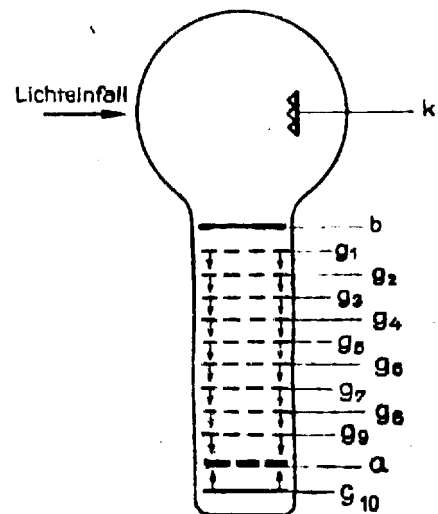
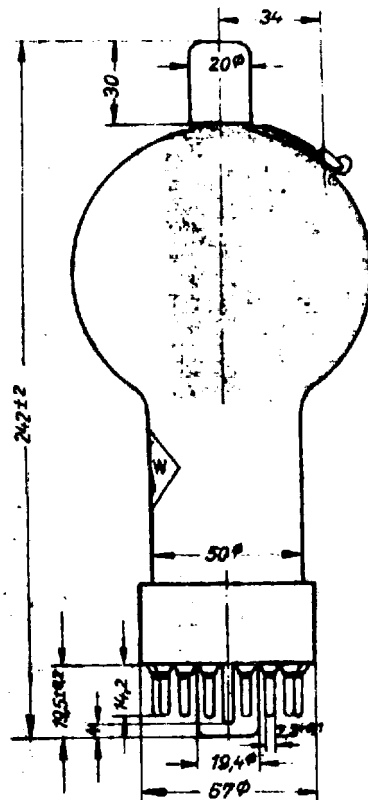
41

Bearbeitet (Tag / Name)	30.10.47	P. Sch	Hierzu gehört:	Ausgabe	1				
Gesehen				Tag	30.10.47				
Labor oder Prüfstand			Wohlfühl RPA Ma	Name	P. Sch				
OSW 316 tr				And-M Nr					

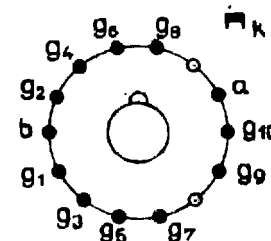
OSW	Technische Daten	TD
	<u>Fotoelektronen-Vervielfacher</u> <u>OSW 2144</u>	15 -01
		Blatt 2 von 2 Blatt

Maßbild

Aufbauschema



Sockelschaltung
(gegen die Stifte gesehen)



Bearbeitet (Tag / Name)	30.10.47 Persch	Ausgabe	1				
Gesehen		Tag	30.10.47				
Labor oder Prüffeld		Name	Brosch				
OSW 316 tr		And-M Nr					

OSW**Arbeits-Vorschrift für:**Prüfen des Vervielfachers, Type OSW 2144**AV****181-56**

Blatt 1 von 2 Blatt

BenennungPrüfen -
nach AV 181-56

Fertigungsmittel: 1 komplette Einrichtung
zum Nachformieren und Prüfen,
gemäß Arbeitsvorschrift AV 171-24.
Den Gesamtaufbau zeigt die bildliche Dar-
stellung auf Blatt 7 und das Schaltbild
auf Blatt 8 der Arbeitsvorschrift AV 171-24.

1 Voltmeter
Meßbereich 0...200 V
Stromverbrauch bei Vollausschlag
0,2...0,3 mA, mit Meßschnüren.

1 Leitungsprüfer (Ohmmeter),
mit Meßschnüren.

Fertigungsteile: Nach Arbeitsvorschrift AV 171-24 nachformierte
Vervielfacher.

Arbeitsgang:Arbeitstufen:Hinweise:I) Vorarbeiten:

- a) Vervielfacher in Fassung
(2) einsetzen.
- b) Metallkasten (1) schließen.
- c) Galvanometer (Ms 2) und
(Ms 3) anschließen:
- d) Beleuchtung des Galvano-
meters Ms 3 einschalten:

Steckbuchsen (Bu 1...Bu 4).

Schalter S 3.

II) Prüfen der Empfindlichkeit
der Fotokathode:

- a) Netzgerät einschalten:

Auf 2500 V einregeln.

Bearbeitet (Tag, Name)	25.10.77	<i>[Signature]</i>
Gesehen	19.11.77	<i>[Signature]</i>
Leiter oder Werkstatt		<i>[Signature]</i>

Wierzu: TD 15-01
AV: 71-24

Ausgabe	1				
Tag	2.10.77				
Name	<i>[Signature]</i>				
Art. N. Nr.	--				

BZ

OSW	Arbeits-Vorschrift für: <u>Prüfen des Vervielfachers, Type OSW 2144.</u>	AV 181-56 Blatt 2 von 4 Blatt
<u>Arbeitsstufen:</u> b) Galvanometer (Ms 3) für den Ausgangsdunkelstrom beobachten: c) Ausgangstromkreis (Anodenstromkreis) unterbrechen: d) Galvanometer (Ms 3) gegen Milliampereometer (Ms 4) auswechseln: e) Glühlampe (La 1) einschalten und Fotokathode belichten: f) Fotostrom ablesen: III) <u>Prüfen des Vervielfachungsfaktors:</u> a) Ausgangstromkreis (Anodenstromkreis) schließen: b) Ausgangstrom auf 1 mA einstellen: c) Vervielfacher 30-Minuten mit konstant gehaltenem Ausgangstrom betreiben: d) Vervielfachungsfaktor V bestimmen: <u>Hinweise:</u> Der Vervielfacher bleibt unbelichtet. Der Ausschlag an der Skala des Galvanometers muß gleichmäßig bleiben. Es dürfen keine plötzlichen Veränderungen (Zuckungen) auftreten. Schalter (S 4). Steckbuchsen (Bu 1, Bu 2). Die Helligkeit darf an der Blende gemessen nicht höher als 5 Lux sein. Galvanometer (Ms 2). Sollwert siehe Technisches Datenblatt TD 15-01. Schalter (S 4). Belichtungsstärke der Glühlampe (La 1) herabsetzen, wenn Ausgangstrom größer als 1 mA ist. Das Verhältnis des Ausgangsstromes zum Fotostrom ergibt den Vervielfachungsfaktor "V". Sollwert siehe Technisches Datenblatt TD 15-01. Der Vervielfachungsfaktor "V" kann bis zu 75 % niedriger liegen, wenn längere Zeit keine Belastungen erfolgt sind.		
Bearbeitet (Tag, Name): Gesehen: Labor oder Werkstatt:	25.10.1947 <i>[Signature]</i> <i>[Signature]</i>	Ausgabe: Tag: Name: And. M. Nr.:

OSW	Arbeits-Vorschrift für: <u>Prüfen des Vervielfachers, Type OSW 2144</u>	AV 181-56 Blatt 3 von 4 Blatt																								
<u>Arbeitsstufen:</u> e) Vervielfacher in lichtdicht verschlossenen Behälter ablegen: IV) <u>Störungen ermitteln:</u> a) Untersuchen, ob eine Unterbrechung in den Zuleitungen zu den einzelnen Stufen des Vervielfachers die Ursache ist: b) Untersuchen, ob Fehler im Spannungsteiler vorliegen: c) Fotostrom messen. d) Sekundäremission in den Zuleitungen der neun Prallgitter und der Prallplatte messen:	<u>Hinweise:</u> Er steigt jedoch bei Belastung innerhalb 30 Minuten auf den nach Belastungen gemessenen Wert wieder an. Aufbewahren bis zur weiteren Verwendung. Entspricht die Empfindlichkeit und die Vervielfachung nicht den im Technischen Datenblatt angegebenen Werten, dann sind die folgenden Untersuchungen auszuführen. Voltmeter, Leitungsprüfer. Voltmeter, Leitungsprüfer. Fließt ein Strom in Richtung vom Spannungsteiler zu den Prallgittern beziehungsweise zur Prallplatte, dann ist die Emission in Ordnung wenn sie a) beim ersten Prallgitter das 2,0...2,7-fache der Fotokathode, b) bei jedem weiteren Prallgitter das 2,0...2,7-fache des vorhergehenden Gitters, c) bei der Prallplatte das 4,0...5,5-fache des letzten Gitters beträgt. Zum Messen sind je nach der Größe des Ausschlags die Galvano-																									
hergestellt (Tag, Name) gesehen ausgegeben zurückgeleitet	25.10.1947 <i>[Signature]</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Ausgabe</td> <td style="width: 15%;">1</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td>Tag</td> <td>25.10.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Name</td> <td>G...</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>And-M.Nr.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Ausgabe	1					Tag	25.10.					Name	G...					And-M.Nr.					
Ausgabe	1																									
Tag	25.10.																									
Name	G...																									
And-M.Nr.																										

OSW	Arbeits-Vorschrift für: <u>Prüfen des Vervielfachers, Type OSW 2144</u>	AV 181-56 Blatt 4 von 4 Blatt																												
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top; padding: 5px;"> <u>Arbeitestufen:</u> e) Leitungsverbindung vom Sockel zur Blende prüfen: </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top; padding: 5px;"> <u>Hinweise:</u> meter (Ms 2) und (Ms 3) sowie das Milliampere-meter (Ms 4) zu verwenden. Beim ersten Prüfling wird mit dem Galvanometer (Ms 2) begonnen. Blendenspannung verändern (um eine Stufenspannung positiver oder negativer machen). Wird dabei keine Veränderung des Vervielfacherausgangstromes festgestellt, dann ist die Zuführung vom Sockel zur Blende unterbrochen. </td> </tr> </table>			<u>Arbeitestufen:</u> e) Leitungsverbindung vom Sockel zur Blende prüfen:	<u>Hinweise:</u> meter (Ms 2) und (Ms 3) sowie das Milliampere-meter (Ms 4) zu verwenden. Beim ersten Prüfling wird mit dem Galvanometer (Ms 2) begonnen. Blendenspannung verändern (um eine Stufenspannung positiver oder negativer machen). Wird dabei keine Veränderung des Vervielfacherausgangstromes festgestellt, dann ist die Zuführung vom Sockel zur Blende unterbrochen.																										
<u>Arbeitestufen:</u> e) Leitungsverbindung vom Sockel zur Blende prüfen:	<u>Hinweise:</u> meter (Ms 2) und (Ms 3) sowie das Milliampere-meter (Ms 4) zu verwenden. Beim ersten Prüfling wird mit dem Galvanometer (Ms 2) begonnen. Blendenspannung verändern (um eine Stufenspannung positiver oder negativer machen). Wird dabei keine Veränderung des Vervielfacherausgangstromes festgestellt, dann ist die Zuführung vom Sockel zur Blende unterbrochen.																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Bearbeitet (Tag Name)</td> <td style="width: 20%;">25.10 1947</td> <td style="width: 20%; text-align: center;"> OSW H. Müller </td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Gesehen</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Labor oder Werkstatt</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 20%;">Ausgabe</td> <td style="width: 20%;">Tag</td> <td style="width: 20%;">Name</td> <td style="width: 20%;">Anz-M Nr</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Bearbeitet (Tag Name)	25.10 1947	OSW H. Müller		Gesehen				Labor oder Werkstatt				Ausgabe	Tag	Name	Anz-M Nr												
Bearbeitet (Tag Name)	25.10 1947	OSW H. Müller																												
Gesehen																														
Labor oder Werkstatt																														
Ausgabe	Tag	Name	Anz-M Nr																											

CLASSIFICATION

SECRET

25X1A

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

REPORT NO. [REDACTED]

INFORMATION REPORT

CD NO.

COUNTRY Germany (Russian Zone)

DATE DISTR. 19 May 1950

SUBJECT OSW Radio Tube Production Plan for February 1950

NO. OF PAGES

PLACE ACQUIRED 25X1A [REDACTED]

NO. OF ENCLS. 1 (7 photostats)
(LISTED BELOW)

DATE OF INFO ACQUIRED [REDACTED]

25X1X

SUPPLEMENT TO REPORT NO.

1. Enclosed are photostats of the radio tube production plan of the Oberspreewerke for February 1950.
2. These photostats are sent to you for retention in the belief that they may be of interest.

25X1A

THIS DOCUMENT HAS AN ENCLOSURE ATTACHED -
ENCLOSURE

SEARCHED	
SERIALIZED	
INDEXED	
FILED	
INFO	

25X1A

Approved For Release 2002/01/16 : CIA-RDP83-00415R005200010004-8

Kst. 701
Br./Gr.

Plan der Fertigung von Technischen und Senderöhren
(Spezialröhren)
Auslieferungsschluß an Fertigwarenlager ist der 25.2.1950

25.1.1950
Februar 1950

Waren-Nr.

Type

Arb.Nr.

Stückzahlen

Bemerkungen

Soll
lt.
Plan

Zuge-
sagte
Ferti-
gung

Rück-
stand
ende
Jan.

1st

Technische Trioden: ~~Zerstörer~~

366630

OSW 2004 (SD 12)
~~OSW 3026 (SD 12)~~
Senderöhren:

498360
~~498360~~

300
-

300
-

46
23

366740

OSW 3115 (RS 255)

498361

3

13

-

"

OSW 3113 (RS 566)

498227

5

5

-

"

OSW 3114 (RS 558)

498242

2

2

-

Röntgenröhren und Ventile:

366435

OSW 3702 (DEW 200/15)

790056

10

10

2

366473

OSW 3714 (V 125/502 pro)

790060

15

15

10

Technische Planungsstelle

Approved For Release 2002/01/16 : CIA-RDP83-00415R005200010004-8

BR/00

Plan der Fertigung von Bildröhren (Spezialröhren)
 Februar 1950
 Auslieferungsschluß an Fertigwarenlager ist der 25. 2. 1950

Waren Nr.	T y p e	Arb.Nr.	Stückzahlen Soll Zuge- Rück- lt. sagte stand Ist Plan Ferti- per gung Ende Jan.	Bemer- kungen
346310	OSW 2068 b	498341	10	10
"	OSW 2068 bn	498342	10	10
"	OSW 2067	498346	10	10
"	OSW 2146	498343	5	5
"	Spezial-Photozelle	498344	1	1
"	Vervielfacher 21 Stufen	498314	1	1

Technische Planungsstelle

Kst. 701
Br/Gr.

25.1.1950

Plan der Fertigung von Rundfunkröhren
Februar 1950

Auslieferungsschluß an Fertigwarenlager ist der 25.2.1950

Waren-Nr.	T y p e	Arb.Nr.	Stückzahlen			Bemerkungen
			Soll lt. Plan	Zugesagte Fertigung	Rückstand Ist Ende Jan.	
<u>Rundfunkgleichrichterröhren:</u>						
366510	OSW 3107 (5 Z 4)	498347	3000	1000	1200	
"	OSW 3116 (6 X 5)	498348	500	2000	250	
"	OSW 3118 (AZ 1)	498349	2000	3000	1000	
"	OSW 3121 (AZ 11)	498357	1000	1000	-	
<u>Duodioden:</u>						
366520	OSW 3109 (6 H 6)	498350	2000	2000	530	n. Sonderbrenner
<u>Trioden/Tetroden:</u>						
366530	OSW 3106 (6 V 6)	498351	5500	4000	2227	
"	OSW 3108 (6 L 6)	498352	2500	2500	407	
"	OSW 3103 (AL 4)	498353	6000	8000	-	
"	OSW 3117 (CL 4)	498354	6000	4000	2000	
"	OSW 3112 (6 J 5)	498350	-	-	2550	
<u>Pentoden:</u>						
366540	OSW 3111 (6 SK 7)	498355	3500	3000	2916	
"	OSW 3119 (AF 7)	498356	4000	-	250	
<u>Verbundröhren:</u>						
366560	OSW 3110 (6 E 5)	498358	4000	4000	1137	
"	OSW 3105 (6 SQ 7)	498359	2000	3000	1787	

Technische Planungsstelle

20.1.1950

Lat. 701
Br/Gr.Plan der Fertigung von Entladungslampen (Spezialröhren)
Februar 1950

Auslieferungsschluß an Fertigwarenlager ist der 25.2.1950

Waren- Nr.	T y p e	Arb.Nr.	Stückzahlen			Bemerkungen
			Soll lt. Plan	Zuge- sagt. Fertigung	Rück- stand per Ende Jan.	

	<u>Hoch- und Höchstdrucklampen:</u>					
366320	OSW 3202 (HBO 50)	491132	50	50	-	
"	OSW 2525 (HBO 2011)	491113	10	10	-	
"	OSW 3204 (HQA 300)	491126	20	20	-	o. Halber
"	OSW 3205 (HQA 500)	491106	20	20	-	
"	OSW 3206 (HQA 300)	491116	10	10	-	
"	OSW 3207 (HQA 500)	491117	10	10	-	
"	OSW 2544	491118	3	3	-	
"	OSW 3208 (HQA 40)	491125	30	30	20	
"	OSW 3209 (PRK-2)	491129	200	200	195	
"	OSW 2522 (HBO 200)	491133	50	50	-	
	<u>Neon-Leuchtröhren:</u>					
366330	OSW 2499 (NHRT)	491127	200	200	2	
366340	OSW 2609	491128	200	200	-	
	<u>Spektrallampen:</u>					
366320	OSW 2531 (RBE 15)	491121	10	10	"	
"	OSW 2532 (CSE 13)	491122	10	10	-	
"	OSW 2530 (KAE 18)	491124	10	10	-	
"	OSW 2534a (TLB 11)	491131	10	10	-	Spez. Anstg.

Technische Planungsstelle

Kst. 701
Br/Ul

24. 1. 50

Plan der Fertigung von Bauelementen (Sonstiges)

Februar 1950

Auslieferungsschluß an Fertigwarenlager ist der 25. 2. 1950

Waren-Nr.	T y p e	Arb.Nr.	Soll lt. Plan	Stückzahlen Zuge- sagte Ferti- gung	Rück- stand per Ende Jan.	Bemer- kungen

<u>Quarze:</u>						
364889	Ultra-Schallquarze 30 Ø	492241	3	3		
"	475 kHz QLS 22 C	492243	4	4		
"	590 kHz QLS 22 C	492243	4	4		
"	135 kHz (QLS 22 B)	492246	6	6		
"	468 kHz (QLS 21 B)	492245	1	1		
"	473 kHz (QLS 21 B)	492245	1	1		
<u>Schichtwiderstände:</u>						
364811	OSW 2119-002 200 kOhm	492217	8000	8000		
"	dto. 1 MOhm	492219	10000	10000	8000	
"	OSW 2119-005 5 kOhm	492220	3000	3000		
"	OSW 2119-002	492247	2000	2000		Neuquartieren
<u>Detektoren:</u>						
364889	OSW 2033 (BD 704)	492239	500	500	200	

Technische Planungsstelle

Kat. 701
Er/Gr.

20.1.1950

Plan der Fertigung von Glühkathoden-Gleichrichterkolben
und Stromtore

Februar 1950

Anslieferungsschluß an Fertigwarenlager ist der 25.2.1950

Waren- Nr.	T y p e	Arb. Nr.	Stückzahlen			Bemerkungen
			Soll Plan	Zuge- Parti- gung	Rück- stand per Ende Jan.	
<u>Glühkathoden-Gleichrichterkolben:</u>						
362653	OSW 3502 (N 280/1;5)	490297	10	10	-	
"	OSW 3532 (N 190/10)	490274	30	30	35	
362644	OSW 3541 (N 110/20)	490272	50	50	50	
"	OSW 3542 (N 190/20)	490276	10	10	15	
"	OSW 3543 (N 280/20)	490275	10	10	15	
"	OSW 3502 (N 110/1;5)	490295	-	-	10	
<u>Stromtore:</u>						
366853	OSW 2549	490298	30	-	-	
"	OSW 3433a (B1/0;2 11J A;4 V)	490271	100	100	-	
"	OSW 3401 (G 7;5/0,6 d)	490278	150	150	-	
"	OSW 3416 (B 1/1 1)	490280	30	-	-	
"	OSW 3417 (B 1/6 1)	490281	30	30	-	
"	OSW 3415 (B 15/40 1)	490285	45	45	-	
"	OSW 3404 (B 20/5 d)	490283	-	-	25	

Technische Planungsstelle

Kst. 701
Nr./Gr.

20.1.1950

Plan der Fertigung von Stabilisatoren und Allgebrauchslampen
Februar 1950

Auslieferungsschluß an Fertigwarenlager ist der 25.2.1950

Waren- Nr.	Type	Art.Nr.	Stückzahlen	Bemerkungen
			Best. Z. ge- lit. Lagerstand Plan Fertigung gang Ende Jan.	

Stabilisatoren:

366830	OSW 3805 (STV 150/20)	490301	300	100	—	
"	OSW 3806 (STV 330/40)	490296	300	300	144	
"	OSW 3821 (STV 280/30)	490295	300	300	—	
"	OSW 3821 (75.3700)	490293	200	—	—	
"	OSW 3811 (STV 100/40)	490304	100	100	—	April 1950 Januar

Allgebrauchslampen:

366110	OSW 2608/40 (40 W)	490287	1000	1000		
"	OSW 2608/50 (50 W)	490283	1000	1000		
"	OSW 2628 (100 W)	490289	200	200		
"	OSW 2674 (300 W)	490291	150	150		

Technische Planungsstelle

CLASSIFICATION

SECRET

25X1A

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

REPORT NO. [REDACTED]

INFORMATION REPORT

CD NO.

COUNTRY Germany (Russian Zone)

DATE DISTR. 19 May 1950

SUBJECT Report to the Russians on Special Transformers

NO. OF PAGES

25X1A

NO. OF ENCLS. 1 (87 pages)
(LISTED BELOW)PLACE
ACQUIRED [REDACTED]DATE OF
ACQUIRED [REDACTED]SUPPLEMENT TO
REPORT NO. [REDACTED]

25X1A

25X1X

1. The VEM-TRO, Berlin-Oberschöneweide, was charged by the Russians to compile a report on the development of special transformers for 400 KV and 100 MVA. The Report was finished in June 1949 and was turned over to the Technical Scientific Division of the Russian Ministry for Power Plants, branch service Karlshorst. It was translated there and sent to Moscow. Whether or not, on the strength of this report, preparations for the construction of such transformers has been started in the USSR, is not known.
2. Work on the problem of the 400 KV transformers at the TRO has completely stopped because there is no longer anyone there who can do such work.
3. A photostated copy of this report is being sent to you for retention in the belief that it may be of interest to you.

25X1A

ENCLOSURE ATTACHED.

CLASSIFICATION				DISTRIBUTION									
STATE	NAVY	NSRB											
ARMY	AIR	OSI	X										

OSI/P

MAY 25 12 30 PM '50

TRO

①

Entwurf I

25X1A

MVA 100/100/33 *verk. 400000 110000 20000*
V/Ph 231000 63500 20000 A 433/1575/1650 50 Hz
 kW₁ 275 Wdg. 923 254 80 Kühlung OFA
 kW₂ 370+10% ZV Schaltg. E [Y-y-d bei Freistrombetrieb] tü Cu"
 uk% 15 *01M MIU 01U* 800 *MIU = 425* } VDE 0532
 15 *01M MIU 01U* 50 *J100+150/16* 0/M=1585 RET tü Oel"

Stück-Organverteilung! 03p Nullp. gesamt
 TYP KWF 12500+1400 14800
 1100 MA 1725 L 4900+100 O₁ 7600 U 250

Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a x b	Kan.
2 x 923	(4 x 7) 2 (65 x 95 isol.)	272 x 7	fortlaufend gew.	4600 x 93	7,5
254	(35 x 9) 16 (5 x 105 isol.)	1 x 254	Wundlw. in 3 Verdr.	4600 x 81	7
80	(4 x 16) 8 (5 x 17 isol.)	1 x 80	Wundlw. in 1 Verdr.	4600 x 25	9

d	q	a	kg	3-R	ZV	kW	33 m ² Abd.	W/m ²
1857	110	394	527	199	10+3	225	210	1050
1306	498	316	4820	117	10+2+5	145	130	1060
1175	630	262	1660	276	4+15	33	32	980

Aw 400000 c 400 r 0,97 28 1515

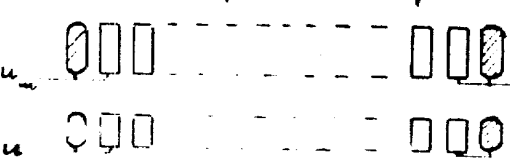
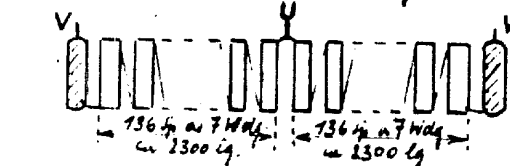
d 1605 s 16+1/3(91+8) = 21,7 ϕ_s 16600000C

us% 14,75 % 1,5 us% 14,95 ur% 0,37 uk% 15 *01M 01U*

kg. IV a b c d 91000+ *Reaktion n. E II* kW₀ 275
 III u v w x kW₁

kg. Wickl. 11750+ *Reaktion n. E II* kW₁ Wickl. 370+10% ZV
 unbestimmbare Z.V.

1100+
50
1150
50 Vsp.
1200
85 Isol.
1285
162 Msp.
1447
317 Isol.
1764
186 03p u
1950



Scheinverteilung im Transformator!

Maß 7 *Trufu nicht voll isoliert* *Fließen Reaktionsspitze*
 E III

kW max. 725 *berg. auf 105°C*
 Kessel kW₁ m Sp. = 800
 45-38,5

X Grundfl. Höhe
 Davon mm gewölbter Deckel
 Wandst. mm Deckel mm
 Boden mm

Zahl der Versteifungen

je N. P. + Lasche mm

Kühlrohre

Rollen

Oel kg

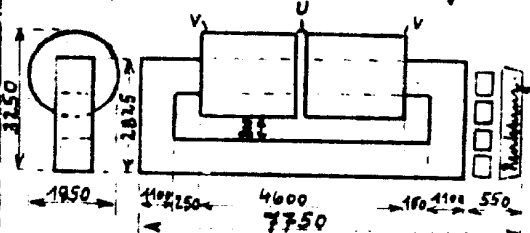
Def. Osp. 1/1 für 400/110 kV 433 A

" Msp. 2 " 110 " 1600 A

Def. Osp. 2 " 20 " 1650 A

Bei Ausföhrung der Haupt-Isolation von 110 (statt 160) in und Mittelspg. mit 1m Freit-Isol. ergibt sich eine $u_k \approx 13,2\%$ o/M. Hierbei wird MA = 1700, $F_c = 90000$ kg $G_c = 11570$

Osp. Wickl. gegen Zersch. für 800KV Trippf. isol.



Nur 1 bewerkstelligter Schenkel!

TRO

(2)

Entwurf II

MVA	100/100/33	verk. 400000	110000	20000	A	433/1575/1650	50 Hz
kW _{II}	200	V/PL 231000	63500	20000			
kW _I	410 + 10% ZV	Wdg. 1275	350	110		Kühlung OFA	
uk %	13,2	Schaltg. E [Y-y-a bei Freistrombetrieb]				tü Cu"	VDE 0532
	0/M 13,2	MIU 0,10	2800	100+150/150	MIU = 42,5	tü Oel"	
	13,2	100+150/150	220	80	0/M = 154	RET	

TYP KWF 125001/400

B 14800

O 940 MA 1775 L 4300+100 O 5517 U 1815

Wdg. Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a	b	Kan.
2x	3x18 (75x22,5)	6A x 10	4x12 (75x15,5)	22,5	77,7	
1275	4x12 (75x15,5)	4B x 10	5x6 (75x8,5)	15,5	84	≈ 7/6
175	35x14 H	1 x 175	3x14 H	4000	50,7	≈ 7
110	4x10 (5x11 isol.)	1 x 110	1x10 (5x11 isol.)	4000	25	≈ 6

d	q	"	kg	J ² · R	ZV	kW	m ²	W/m ²
1621	212	205	290	3	10+3	3,4	7,5	440
	190	2,3	172	23		2,6	4,7	550
	119	3,64	6600	213		240	270	870
1172	53,5	2,95	6160	130	8+7	156	112	1350
1005	790	209	2450	26	3+2+15	31		

Aw 276000 c 400 t 0,97 z 1205

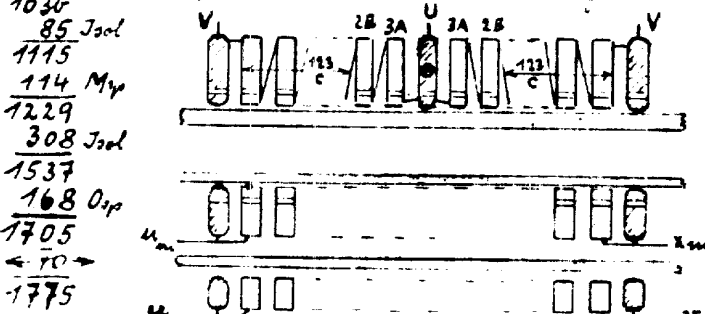
d 138,3 s 156+1/3 (8,7+5,6) · 20,2 q 10600000

us % 12,95 % 2 us % 13,15 ur % 0,41 uk % 13,2

kg. IV a b c d 60000+ Reaktanz E III kW 190

kg. Wickl. 15672+ Reaktanz E III kW. Wickl. 406+10%

940 φ Opp. Wicklung gegen Erden für 300 kV Prüfspan. isol.
 40 Für die Bief. ist die angenommene Freitrievolution
 980 d. Ober- u. Mittelspannungswicklung, sowie die
 50 Usp Haupt-Isolation von DT zu beschreiben
 1030



Isolationen laut im Zeichnungsblatt. Die Bief. Schaltung ist als Windung zu verwenden.

März

7

Trichter nicht voll isolieren

Opp. Msp für 220 kV Prüfspan.

Hierbei Reaktionsgröße

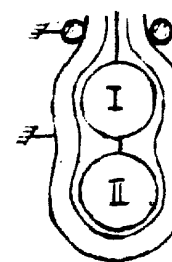
E III

kW max. 700 bezogen auf 105°C
 Kessel kW m Sp. 750
 45-385

Grundfl. Höhe

Davon mm gewölbter Deckel

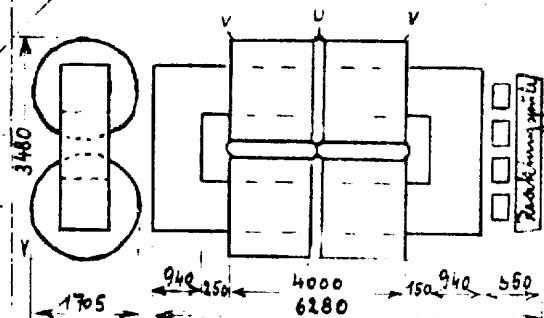
Wandst. mm Deckel n.m



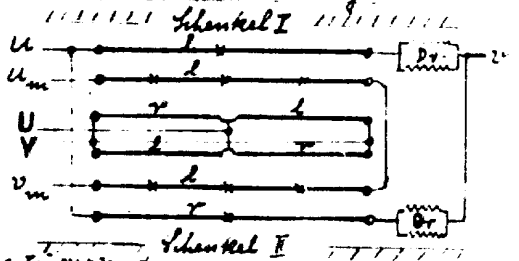
Bemerkung:
 Über die 2. Schenkel der
 400 kV Wicklung ist eine
 Umlege von 250 m be.
 bestehend aus 70 m Profpap.
 + 180 m Oelstricke (= 15
 Kanäle ø 12 mm) zu legen.
 Als Abschluss ein gewebter
 Blechmantel in einer
 Schichtung u. Angabe
 von H. D. Krummer.

Dgr. f. Osp. 1/1 für 400/110 kV 450 A
 " Msp. 2 " 110 " 1600 A
 Dgr. f. Usp. 2 " 20 " 1650 A

unbestimmte Erds. Verluste



Gesamt-Schaltung



TRO

③

Entwurf III

kVA 1600 V/Ph 970 (isoliert für 20 kV) A 1650 25X1A 50 Hz
 kW_u Wdg. 120 ± 4 Kühlung OFA
 kW_i Schaltg. E tü Cu° VDE 0532
 uk % Pr. Sp. kV 50 J = 45 o/ RET tü Oel°

TYP Kaper.

B = 6850

Ø MA L 3000 530 U 8,1

Wdg/Schl Draht Sp × Wdg Lg × Wdg a × b Kan.

124 (35 × 12) 3 18 × 7 13 × 97 7
 (45 × 13) 100 (360)

d q n kg J · R ZV kW 35% m² W/m²
 517 498 332 890 24 25 + 10 33 17 = 1800

Aw C T 28

d s φs

u_s % τ % u_s % u_r % u_k %

kg IV a b c d

kW

II = 1020

kW = 1

kg W Wickl. 890

kW Wickl. 33

kg Abl.

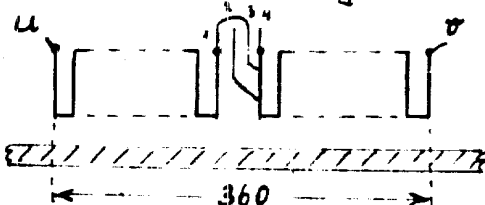
W_i Abl.

$$B_L = \frac{120 \times 413 \cdot 18}{36 \cdot 9} = 1980; \quad B_F = 1980 \cdot \frac{1830}{530} = 6850$$

$$Q_{red} = \frac{42^2 \cdot \pi}{4} + (51,7 \cdot 95 \cdot 0,29) = 1830$$

$$u = 1980 \cdot 1830 \cdot 222 \cdot 120 \cdot 10^{-8} \approx 970 \text{ V}$$

Jochabstand ca 45 mm angenommen.



kW max.

Kessel

W_{ss} m Sp.

X Grundfl. Höhe

Davon mm gewölbter Deckel

Wandst. mm Deckel mm

Boden mm

Zahl der Verstärkungen

Je Schaltung d. Reaktion
in Verbindung mit der
20 kV Wicklung des
Haupt-Transformers.

Oel kg

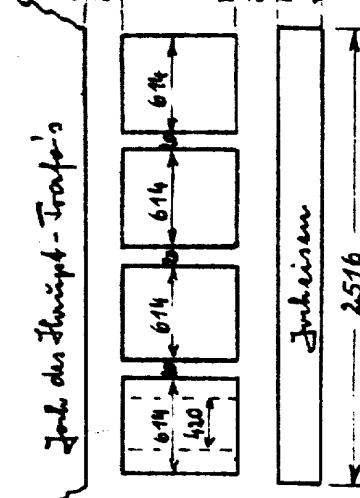
Dchf. Osp.

Dchf. Usp.

Umschalter

Lastregler Alle 4 Schenkelswickl. parallel

550 45 360 45 100



März

1947

Tr

TRO

(4)

Entwurf III a

kVA 1080 V_{Ph} 1960 (indiert für 38,5 kV) A ^(452 max) 856 50 Hz
 kW_e Wdg. 240 ± 8 Kühlung OFA
 kW_i Schaltg. E tü Cu" } VDE 0532
 uk % Pr. Sp. kV 90 J = 60 o/ RET tü Oel"

TYP Kaper $B = 6950$

Ø MA t *hoch* 0.530 U 8,18
off

Wdg/Schl	Draht	Sp × Wdg	Lg × Wdg	a b	Kan.
248	(35 × 12) 3 (45 × 13) 10	2 × 16 = 7 2 × 2 = 6	vertingt gew. <i>bedrahtet eingebündelt</i>	13 × 97 (360)	7

d	q	o	kg	∫ ² · R	ZV %	kW	m ² 33%	W/m ²
517	2 × 125	34	900	24,2	25 + 10	33	17	1780 (2200 max) bei 952 A

Aw C 28

d s ps

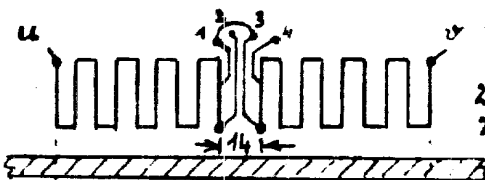
us % τ % us' % ur % uk %

kg. IV a b c d			
III α v max	2100	W	2,2
kg. Wickl.	900	W Wickl.	33 (41)
kg Abl.		W Abl.	

$$B_L = \frac{120 \cdot 428 \cdot 18}{36 \cdot 10} = 2020 ; B_F = 2020 \cdot \frac{1830}{530} = 7000$$

$$A_{nd} = \frac{42^2 \cdot \pi}{4} + (517 \cdot 95 \cdot \pi \cdot 0,29) = 1830$$

$$u = (2020 \cdot 1830 \cdot 222 \cdot 120 \cdot 10^{-8})^2 = 1960V$$



Abstand ca 50 mm angenommen!

kW max.

Kessel

W_{ss} m Sp.

X Grundfl. Höhe

Davon mm gewölbter Deckel

Wandst. mm Deckel mm

Boden mm

Zahl der Verstärkungen

Je

Kühlrohren

Rollen

Oel kg

Dol.f. Osp.

Dol.f. Usp.

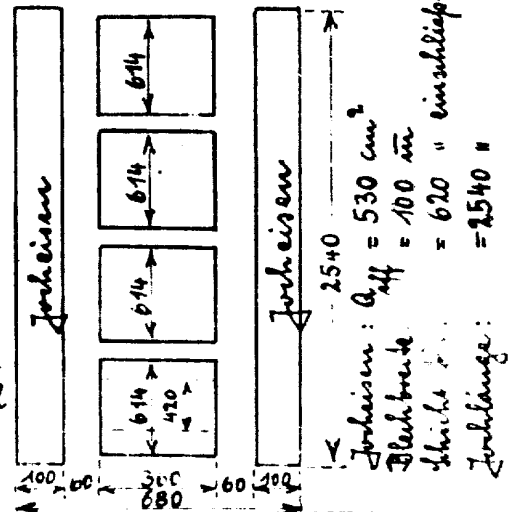
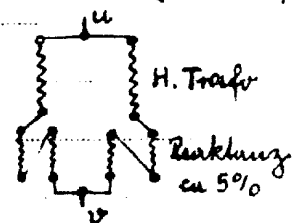
Umschalter

Lastregler

Entwicklungszeit

Tag

*Schaltung d. Reaktion
in Verbindung mit der
38,5 kV Wicklung d. H. Trافر.*



4

TRO

5

Entwurf IV

25X1A

MVA 100/100/33 $\frac{verk}{V/PL}$ 400000 131000 38400 231000 70000 38400 A 433/1430/858 50 Hz
 kW₀ 210 Wog. 1300 394 216 Kühlung OFA
 kW₁ 480 Schaltg. E [Y-Y- α bei Drehstrombetrieb] t₀ Cu° } VDE 0532
 uk % 135 $\frac{OIM}{MIU}$ 135 $\frac{MIU}{OIM}$ 135 $\frac{OIM}{MIU}$ 135 Pr. Sp. kV 80 $\frac{800}{230}$ $\frac{MIU}{OIM}$ 425 $\frac{OIM}{MIU}$ 1515 RET t₀ Oel°

TYP KWF 125001/400

B 13900

960 31d 8 MA 1750 L 4650+100 O 5750 U 178

Wdg/Schkl Draht Sp x Wdg Lg x Wdg a b Kan.
 1300 4x20 (83x243) 6A x 7 $\frac{vorlänfend}{gew}$ 244-59+7 213-66 $\approx 7,45$
 4x78 (73x213) 8B x 8 185
 4x16 (65x185) 134C x 9
 197 4x12 (8) 1 x 197 $\frac{Wendelw}{3 Wendelw}$ 3890-45+6 3890-51 $\approx 5,9$
 55x135 (cool)
 216 4x12 (5) 1 x 216 $\frac{Wendelw}{1 Wendelw}$ 3890-25 ≈ 5
 5x13 (cool)

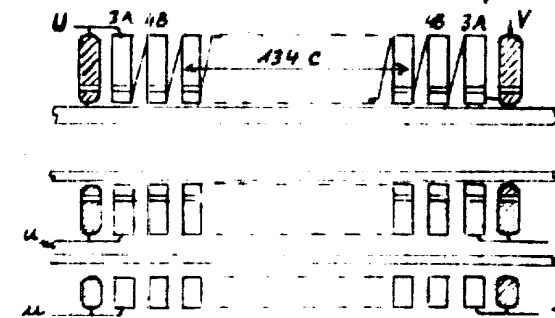
d	q	o	kg	J ² ·R	ZV	kW	m ²	W/m ²
1606	157	276	294	5,5	5+3	6	6,2	930
	142	306	404	9,2	7+3	10,2	8,2	1200
	126	344	6760	194	8+3	215	136	1550
1186	380	376	4950	170	6+3+5	194	113	1640
1025	475	181	2940	234	3+3+10	27	69	360

Aw 282.000 c 389 0,975 28 1270

d 138,9 $\frac{15,35+1/3(6,3+4,9)}{10,540000}$ us % 132 τ % 2 us % 1345 ur % 0,47 uk % 135

kg IV 65600+ $\frac{Reaktion}{E III a}$ kW 202
 III u v w x $\frac{jedoch nur 1-Brangwehr}{m. E III a}$ kW
 kg Wickl. 15348+ $\frac{Reaktion}{m. E III a}$ kW Wickl. 470

960 40 1000 50 Usp. 1050 85 Tol. 1135 102 Msp. 1237 303 Tol. 1540 132 Osp. 1672 78 1750



Leistung liegt im Zust. d. Stand mit Differenzialschaltung.

Mang

1948

Trafo voll isoliert

Hing. Reaktionspaare

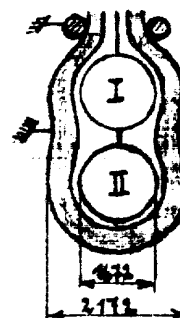
mit 2-Br.

kW max. 740 liegen auf 105°C
 Kessel kW m Sp. ≈ 800
 45-38,5

X Grundfl. Höhe

Davon mm gewölbter Deckel

Wandst. mm Deckel mm

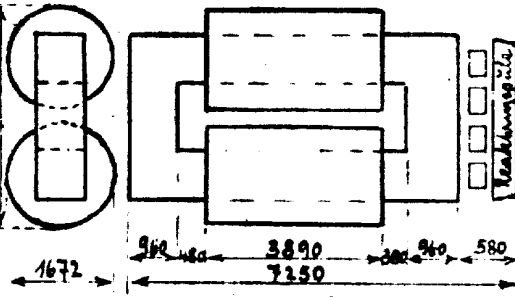


Bemerkung:

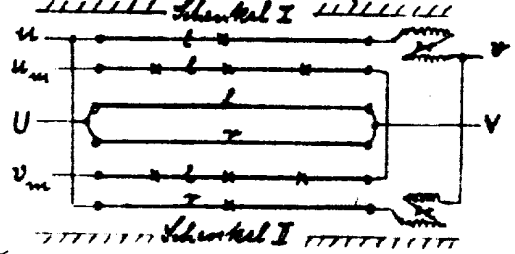
Nur die 2 Schenkel der 400 kV Wicklung ist eine Umlege von 250 m bestehend aus 70 m Prespan + 180 m Oeltrichter (= 15 Kanäle ≈ 12 m) zu legen. Als Schutz ein spezieller Blechmantel in eine Blechring u. n. Angaben v. H. Dr. Krümm

Dcht. Osp. 2 für 400 kV 433 A
 " Msp 2 " 110 " 1430 A
 Dcht. Usp. 2 " 384 " 860 A

einschließt 10% unbestimmbare Teile. Verläufe



Leistung - Schaltung



TRO

6

Entwurf V

25X1A

MVA 100/100/33 $\frac{400000}{231000}$ 121000 38400 38400 A 433 / 1430 / 860 50Hz
 kW₁ 160 Wdg. 1878 568 312 Kühlung OFA
 kW₂ 580 Schaltg. E [Y-y-d bei Drehstrombetrieb] tü Cu° } VDE 0532
 uk % 12,5 MIV 10 0/M 152,5 RET tü Öl° }

TYP KWF 125001/400 B 13900
 Ø 800 MA 2000 L 5400+100 4000 U 123

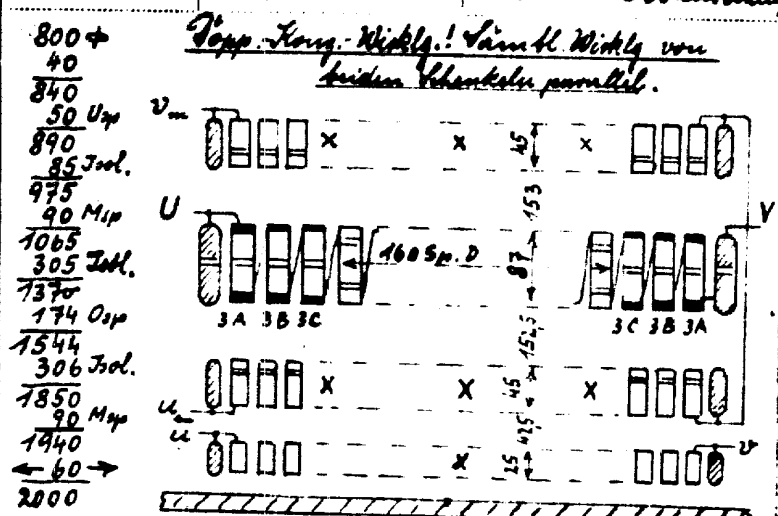
Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a x b	Kan.
1878	55x16 (9x20)	6A x 6	fortlaufend	464x39x6	74
	55x16 (9x19,5)	6B x 7		464x39x6	
	4x16 (6,5x18,5)	100 x 11	gew.	185x73x2x7	
284	1 (4x9) x 7	1 x 284	Wendelw.	464x39x6	5,5
284	55x105 (4x9)	1 x 284	"	464x39x6	5,5
312	(4x8) x 5 (5x9 (4x9,5))	1 x 312	"	464x25	5,5

d	q	h	kg	J ² R	ZV	kW	m ²	W/m ²
1458	172	2,52	255	3,9	6	4,2	33% H ₂ O	800
	172	"	635	9,8	6	10,4	13	800
	126	3,44	9000	2,59	5	27,2	175	1550
1458	497	2,88	11500	2,32	8	250	170	1500
865	315	2,73	2380	43	5	45	75	600

AW 204000/135000 c. 464 7. 0,98 B 777/513

d 1458/932/113 S = 154 + 1/2 (42+44) = 183 650000/3550000
 114 + 1/2 (86+14) + 39,025 = 183 2336 3700000
 24,4 + 1/2 (68+34) = 28 111
 u₀ % 12,5/64/92 % 8/3/9 u₀ % 12,5/64/92 u₀ % 12,5/64/92 u₀ % 12,5/64/92

kg. IV	51000	kW ₁	160
III u v w x		kW ₂	
kg. Wickl.	23770	kW ₁ Wickl.	580 einschließl. 8% überbrücken in bare Löss. Verluste.



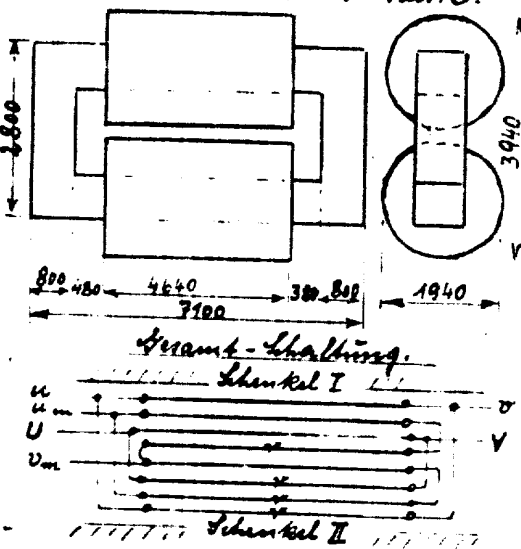
kW max. 800 bezogen auf 105°C
 Kessel kW₁ m_{Sp} = 850

Grundfl. Höhe
 Davon mm gewölbter Deckel
 Wandst. mm Deckel mm
 Boden mm

Bem: Für die Ausföhrung ist die angenommene Trichterisolation der Ober- und Mittelspannungswicklung, so wie die Flankisolation d. Ver. siehe zu bestätigen.
 Lötarmringe mit Folieisolation! Lötarmring liegt im Jochabstand.

Doch. Osp. 2 für 400 kV 433 A
 " Msp. 2 " 110 " 1430 A
 Doch. Usp. 2 " 384 " 860 A

Umschalter
 Lastregler



dan April 1948

Transp. voll isoliert
 X Vordrillingen

Oberrg. Wicklung wegen Kasten für 800 kV Prüfölg.

TRO



Entwurf VI

MVA 100/100/33 *Werk 400000 724000 88500*
 V/PZ 231000 *70000 38600* A 433/1430/858 25X1A 50Hz
 kW₀ 250 Wdg. 832 252 139 Kühlung OFA
 kW₁ 450 Schaltg. E [Y-y-d bei Drehstrombetrieb] tū Cu° } VDE 0532
 uk % 14 Pr. Sp. kV *800 110 90* *100+380/380* M/U = 42 O/M = 152 RET tū Oel°

TYP KWF 125001/400 *13900*
 Ø 1200 MA 2000 L2550+1000 9000 U 277,5

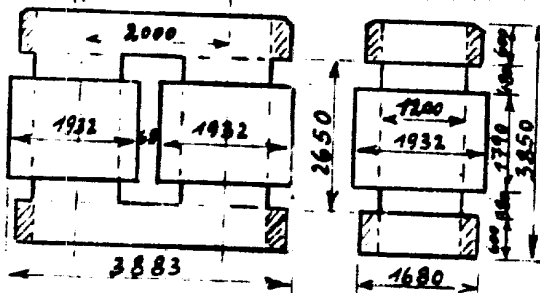
Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a x b	Kan.
832	4x12 (65x145)	94 x 9	fortlaufend gew.	1790 x 586 65	45
126	(4x8) 10 (55x95) uel	1 x 126	Wendelw. um 3 Wdg.	1790 x 586 62	43
139	(4x7) 5 (5x8) uel	1 x 139	Wendelw. um 1 Wdg.	1790 x 25	45

d	q	δ	kg	J ² · R	ZV %	kW	m ²	W/m ²
1849	95	4,56	4100	208	10	230	103	2200!
1436	317	452	3200	160	10+4	183	100	1800
1265	277	31	1360	32	3+3	34		

Aw 180000 c 179 *095* *1720*
 d 165 *154 + 1/3 (63+6) = 195* *17350000*
 u_s % 138 τ % 2 u_s % u_r % 0,45 u_k % 14

kg. IV a b c d 81000
 III u v w x } +Reaktion
 kg. Wickl. 8660 u. E III a
 kW₀ 250
 kW₁
 kW, Wickl. 450 *min. 10% unbed. in bare T.V.*

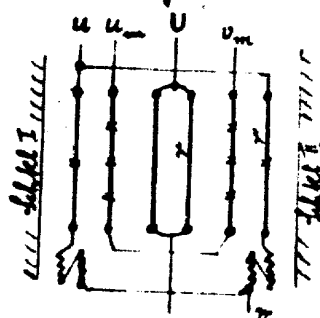
1200 φ
 40
 1240
 50 Usp.
 1290
 84 Jod
 1374
 124 Msp.
 1498
 304 Jod
 1802
 130 Asp.
 1932
 68
 2000



Radial geschichteter 2-Schenkel Kern
 mit Brechung der oberen Kernseiten
 wegen Profilgängigkeit
 Kernhöhe in breite sehr knapp!

KW max. 750 *knop. auf 105°C*
 Kessel kW m Sp. ~ 800
 45-285°
 X Grundfl. Höhe
 Davon mm gewölbter Deckel
 Wandst. mm Deckel mm
 Boden mm
 Zahl der Verstärkungen
 Je N. P. + Lasche mm
 Kühlrohre
 Rollen
 Oel kg
 Dchf. Osp. 2 für 400 kV 433 A
 " Msp. 2 " 110 " 1430 A
 Dchf. Usp. 2 " 385 " 860 A

Für die Luf. ist die angenom.
 mme Füllisolation der Ober-
 u. Mittelspannungswicklung,
 sowie die Kriech-Isolation
 durch Versuche zu bestätigen
 Die Kriechringe liegen im 1. St. Abstand
 Schaltung d. Schenkel



März

Trichter voll isoliert

Flug in Reaktionspile

TRO

(9)

Entwurf VII A

MVA 100/100/33 *mark. 400000* *121000* *38500*
V/2 231000 *70000* *38500* A 433/1430/858 50 Hz
 kW₀ Wdg. 2150 652 358 Kühlung *OFA*
 kW₁ Schaltg. *E [Y-y-d bei Drehstrombetrieb]* Cu° } VDE 0532
 uk % Pr. Sp. kV *800* *300-380/380* *MV = 425*
230 *0/M = 152* RET tü Öl°

TYP KWF 125001/400

B 13800

○ 750 MA 1975 L 5600+100 O 3500 U 107,5

Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a · b	Kan.
2150	4 x 16 (65 x 18,5)	186 x 12	<i>verdrillt</i>	4840 x $\frac{80+2 \cdot 75}{2}$ = 95	-7
326	$\frac{4 \cdot 16}{(55 \cdot 9,5)}$	1 x 326	<i>Wendelw.</i>	4840 x $\frac{80+16}{2}$ = 5	5
326	"	1 x 326	"	1 x 1	5
358	4 x 8-5 (5-9)	1 x 358	"	4840 x 25	45

d	q	i	kg	Σ · R	ZV	kW	m ²	W/m ²
1415	126	344	10700	308	10	340	210	1620
1415	440	325	11300	290	12	325	500	700
845	315	27	2560	455	5	48		

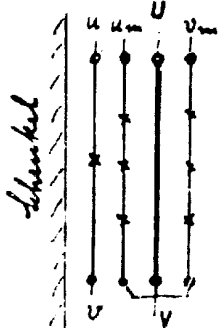
Aw 233000 c 484 r 0,98 Re 850

d 1415 $\frac{1535+75(46+44)}{2} = 184$ ps 695000

us % 143 = % 5 us % 149 ur % 0,72 uk % = 15

kg IV <i>R</i>	45000	kW ₀	= 140
III u v w x		kW ₁	
kg Wickl.	24560	kW Wickl.	720 <i>einsteckl.</i> 10% <i>in der</i> <i>Stromleitung</i> Z.V.
kg Abl.		W. Abl.	

750 +
40
790
50
840
85
925
90
1015
305
1320
190
1510
305
1815
90
1905
70
1975



Doppelt-Kern-Wicklung

Längl. Wicklungen von beiden Schmeln parallel.

Abmessung ohne Rücksicht auf Transportfähigkeit
 (Auslegung dient nur zur Information)

x Verdrillung vor Wendelwicklung

Richtungspfeile nicht verbindlich

April

Freie will überlassen

TRO

(10)

Entwurf VII B

25X1A

MVA 100/100/33 $\frac{W}{V}$ 400000 121000 38500 A 433/1430/858 50 Hz
 kW₀ 300 Wdg. 1090 330 183 Kühlung OFA
 kW₁ 470 Schaltg. E [Y-y-d bei Drehstrombetrieb] tü Cu⁰ } VDE 0532
 uk % 13 Pr. Sp. kV 800 100/380/380 MIO = 42 0/M = 152 RET tü Oel⁰

TYP KWF 125001/400

B 13900

Ø 1050 MA 1825 L 2750+1000 6900 U 212
 3450

Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a x b	Kan.
1090	35 x 10 (6 x 12,5 isol.)	112 x 10	fortlaufend gew.	1990 x 616 = 67	5,2
110	(4 x 12) x 7 (55 x 135 isol.)	1 x 110	Handelw m. 3 Verdr.	1990 x 396 = 45	4
183	(4 x 7) x 5 (5 x 8 isol.)	1 x 183	Handelw m. 1 Verdr.	1990 x 25	3

d	q	n	kg	Σ R	ZV %	kW	33% m ²	W/m ²
1687	107	405	5500	219	6	234	190	1230
1270	332	43	3880	174	6+4	192	140	1750
1145	415	207	2360	245	3	27		

AW 157000 c 199 0,95 28 1350

d 1496 154 + 65 x 44 = 1904 12100000

u₀ % 1265 = % 3 u₀ % 1295 u_r % 0,47 u_k % 13

kg IV 45000 + 51500 = 96500 kW₀ 300

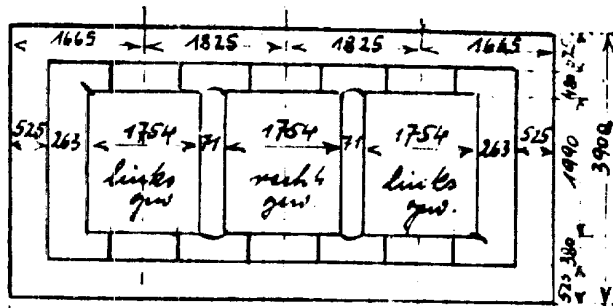
III u v w x + Reaktanz E II a.

kg Wickl. 11740 + Reaktanz E II a.

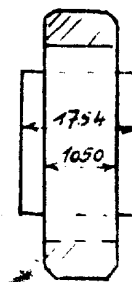
kW Wickl. 470 einbl. 16% unbestimmte Z.V.

1050 φ

42
1090
50
1140
85
1225
90
1315
305
1620
134
1754
71
1825



6980
 67310 leichter Ausbaumass.
 Oberfl.-Wicklung gegen Eisen für 8,5 kV Prüfspannung isolieren (Isolierung hier mit Metallblech in Isolierung)



Für die Ausföhrung ist die angenommene Frühlisolierung d. Ober- u. Mittelspannungswicklung, sowie die Haupt-Isolierung durch Versuche zu bestätigen. Schirmringe liegen im Fach abged.

Mitt

Träger voll isoliert

Für die Reaktionsgröße

TRO

Unter Berücksichtigung
des Fahren des Schweißens
des MfK vom 25.10.48

Entwurf VII c

bei 360 kV Vollast - Leistung

MVA 100/100/33	Wdg. 400000	121000	38500 (A max 481 1590 952)	50 Hz
V/PL 231000	70000	38500 A	433 1430 856	
kW ₀	Wdg. 1682	510	282	Kühlung OFA
kW ₁	Schaltg. E [Y-y-ol bei Drehstrombetrieb]	tü Cu"	VDE 0532	
uk % = 13	0/M MIU 0/U	800 V 20	MIU = 30	5 m Pap + 5 m Leinwand
Pr. Sp	100-150/150	0/M = 30	5 m Pap + 5 m Leinwand	tu Oel"

Wdg. Hilf. durch geschw. Isol. für U_p = 220 kV (a. Selbstanregung)
TYP KWF 125002/400
Ø 870 MA 1675 L 4300+100 O₀ = 4700 U 1372

Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a - b	Kan.
841	23 x 16 = 4 (28 x 16)	4 = 106	Lagen w	4000	8 m Leinwand
510	45 x 16 (67 x 182)	4 = 104	"	3900	8 m Leinwand
282	27 x 14 = 6 (32 x 175)	1 = 84	"	3800	8 m Leinwand
	6 x 12 = 2 (75 x 135)	1 = 138	"	3800	8 m Leinwand

d	q	n	kg	Σ R	ZV	kW	33% m ²	W/m ²
1460	146	2,97	5100	109	= 8	235	190	1250 (1850)
1143	450	3,18	7350	181	= 8	195	113	1700 (2100)
942	284	3,02	2110	47	= 6	50	31	1600 (2000)

Aw 364000 c 397 r 0,96 Re 1590

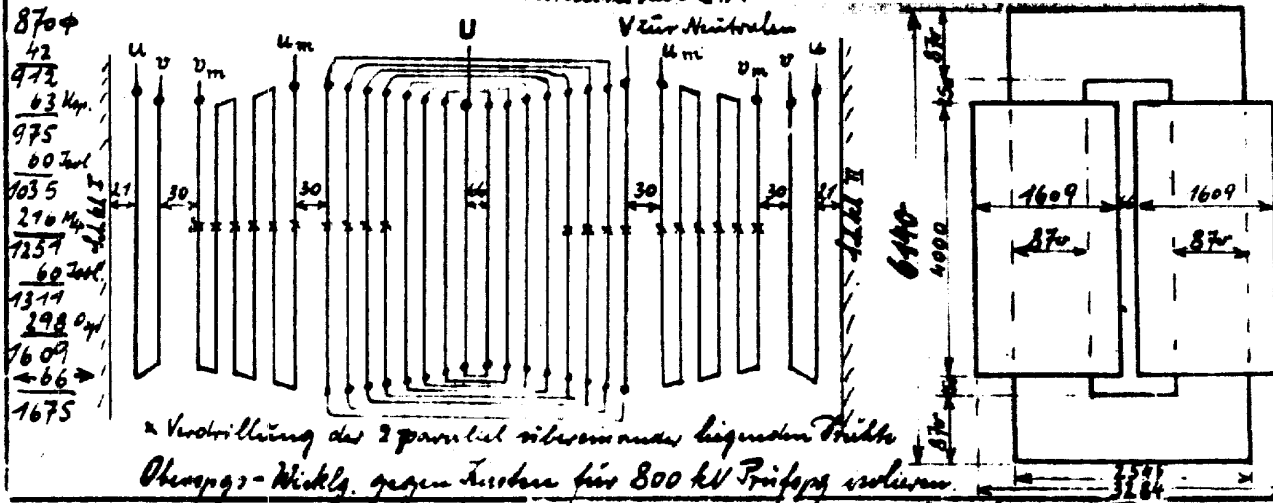
d 128,1 S = 315 + 1/3 (148 + 107) 0,95 = 1125_{0,95} 7220000

u₀ % 11,7 r % 5 u₀ % 12,3 u_r % 0,48 u_k % = 12,5

kg. IV	50000+	Leistung u. E II a	kW ₀	150 (130)
III u v w x			kW ₁	
kg. Wickl.	19360+	Leistung u. E II a	kW ₁ Wickl.	480 (590)

Dchf. Osp. 1/9 für 400/110 kV + 80 A
" Msp. 2 " 110 " 1600 A
Dchf. Osp. 2 " 38,5 " 950 A

Abmessung ohne Rücksicht auf
Transport fertig ist.
Form in Wicklung getrennt form.
partieren in an Ort in Halle zu
Annehmen können.



Verdrängung des 2 parallel nebeneinander liegenden Trichter
Ölspiegels-Wickl. gegen Aussehen für 800 kV Prüfspannung

April

Trichter nicht voll isoliert

Hier in Tank hangen

Apr. Msp. für 220 kV Prüfspannung u. E II a

TRO

12

Entwurf VIII

MVA 100/100/33 *verk. 400 000 121000 18400* V_{PL} 231000 70000 38400 A 433 / 1430 / 858 50 Hz
 kW₁ 210 Wdg. 1300 394 216 Kühlung OFA
 kW₂ 450 Schaltg. E [Y-y-d bei Totstrombetrieb] tü Cu" } VDE 0532
 uk % 13 2+5+7 7+5+12 Pr. Sp. kV 230 100+300/300 MIU=48 0/M=98
 0/M MIU 0/U 800 100+300/300 MIU=48 0/M=98
 uk % 13 2+5+7 7+5+12 Pr. Sp. kV 230

TYP KWF 125002/400

38400

900 MA 1850 L 4400+100 5750 U 178

Wdg/Schl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a x b	Kan.
650	(35x20)2 (55x22 isol.)	8 x 85 81	Längenw.	3800 3600	6 m Leist. +05 P. +45 m Pap.
394	(4x16)3 (55x182 isol.)	6 x 68 65	"	3800 3600	6 m Leist. +05 P. +45 m Pap.
216	(6x16)2 (7x17 isol.)	1 x 109 1 x 107	"	3750 3680	7,5 m Pap. +65 m Leist.

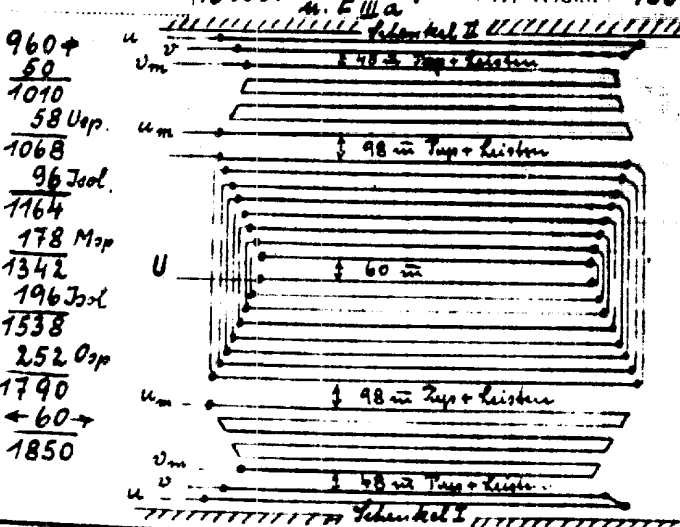
d	q	o	kg	J ² ·R	ZV o/o	kW	m ²	W/m ²
1664	138	314	8350	200	8 (20 max)	220	207	1070
1253	390	367	5420	177	8 (20)	191	117	1630
1039	380	226	2380	295	5 (8)	31	32	970

Aw 282000 c 377 0,96 1292

d 144 S=10+1/2(12,5+8,8)95=76,8 9850000

u₈ % 12,3 % 5 u₈ % 12,9 u₇ % 0,45 u_k % 13

kg IV 64500+ *Reaktion u. E III a* kW₁ 200
 III u v w x *Reaktion u. E III a* I.W.
 kg Wickl. 16150+ *Reaktion u. E III a* kW Wickl. 450



kW max. 710 bezogen auf 105°C
 Kessel kW m Sp. 780
 45-385°

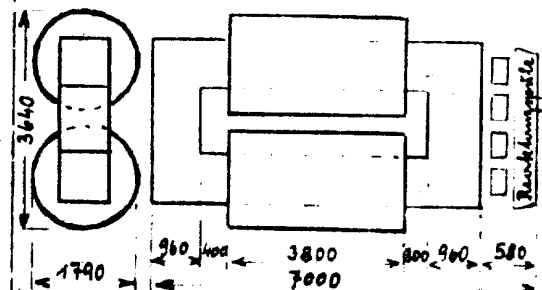
Grundfl. Höhe
 Davon mm gewölbter Deckel
 Wandst. mm Deckel r.m
 Boden m.m

Beim: Für die Ausföhrung
 ist die angenommene
 Fruchisolations der Ober- und
 Mittelspannungssektoren so:
 wie die Haupt-Isolation d. Ver.
 sicher zu bestatigen

Danf. Osp. 2 für 400 kV 433 A
 " Msp. 2 " 110 " 1430 A
 Danf. Usp. 2 " 384 " 860 A

Wicklung. Osp. beide Schenkel in Serie
 " Msp. " " parallel
 " Usp. " " "

9% unbestimmbarer Zus.-Verluste



Obsp.-Wicklung gegen Stacks für
 800 kV Freileitung isolieren.

April

Transf. voll isoliert

Klein- Reaktionspfeile

TRO *Volle Leistung von 360-440 kV* **(13) Entwurf IX**

MVA 100/100/33	verk. 400000	129000	38500 (A _{max} 487 480 452)	50 Hz
	V/Ph. 231000	70000	38500 A 433/1430/856	
kW ₀ 180	Wdg. 1122	340	187	Kühlung OFA
kW ₁ 470	Schaltg. E [Y-y-d bei Dreistrombetrieb]			10 Cu°
uk % 13,2	0/M 110 0/U 13,5	Pr. Sp. kV 230	MIU-30 0/M=50	tü Oel°

x) Oberspannungswicklung ist isoliert für U_p = 440 kV (Feldstärkung)

TYP KWF 125002/400 B 13500

Ø 1050 MA 1900 L 2600+100 O₀ 6900 U 206

Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a x b	Kan.
561	(35x17)2 (55x19) isol.	10 x 59 52	Längen	2300 ÷ 60x2 2000 -150	6 in Linsen +0,5 Pa +35 in 7.7
340	(4x16)2 (5x17)2 isol.	8 x 44 41	"	2300, 44x70 2750, 114 2300, 15x10 2240, 25	6 in Linsen +0,5 Pa +35 in 7.7
187	(6x11)2 (7x12)2 isol.	2 x 95 92	"	"	"

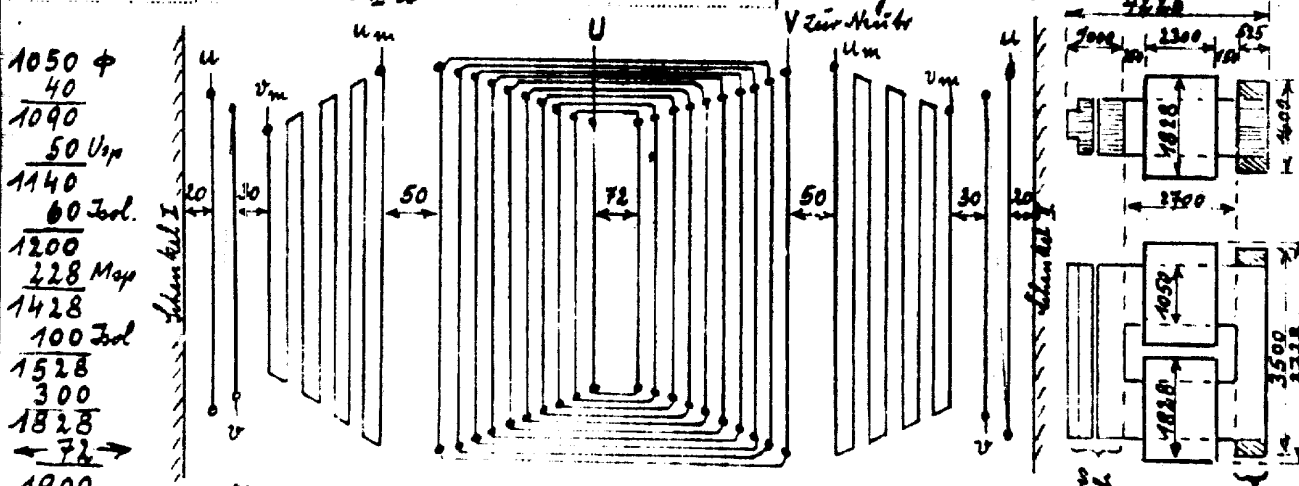
d	q	h	kg	T · R	ZV	kW	m ³	W/m ²
1678	118	366	6230	203	12	230	152	1500 (1850 bei 360 kV)
1314	380	376	4750	163	13	185	100	1850 (2300)
1115	260	33	1520	40	5	42	21	2000 (2450)

Aw 243000 c 225 096 B 1860

d 147,8 S=52+1/3(35+32)+37+26=137,8 11900000

u₀ % 12,8 % 3 u₀ % 13,15 u_r % 0,47 uk % 13,2

kg. IV subord.	61000+ Reaktanz u. E III a	kW.	180
III u v w x		kW	
kg. Wickl.	12500+ Reaktanz u. E III a	kW. Wickl.	470 (580)



Beim: Bei Einführung ist die angenommene Frühisolierung der Ober- in Mittelspannungswicklung, sowie Haupt-Isolation d. Ver. nicht zu berücksichtigen

Dchf. Osp. 1/1 für 400/220 kV 480 A
" Msp. 2 " 110 " 1600 A
Dchf. Usp. 2 " 38,5 " 950 A

Wicklung: Osp. beide Linsen in Serie
" Msp. " " parallel
" Usp. " " parallel
Ausbl. 12 % unbestimmte
Zusatz-Vollstände.

Oberspannungswicklung gegen Erdstrom für 800 kV Prüfspannung isolieren

Trichter nicht voll isoliert *Reinigung Reaktanzspule*

TRO *Volle Leistung von 360-440 kV* (14) Entwurf X

MVA 100/100/33 *bei 360 kV* *38500 (Amax 487 1590 452)* *433 / 1430 / 856* 50 Hz
 kW₀ 180 Wdg. 1122 340 187 Kühlung OFA
 kW₁ 480 Schaltg. E [Y-y-d bei Drehstrombetrieb] tū Cu° } VDE 0532
 uk % 13,2 *MIU 22+5-127+5-127* Pr. Sp. kV 230 *MIU=42* RET tū Oel° }
MIU=59

Wdggs-Nähtyp. Last. für Up=440 kV (Hilfsanordnung)
 TYP KWF 125002/400 *B 13500*

Ø 1050 MA 1875 L 2500+100 Ø 6900 U 206

Wdg/Schkl	Draht	Sp × Wdg	Lg × Wdg	a - b	Kan.
561	(35 × 17) 2 (55 × 19) cool.	11 × 56 48	Lagert.	2200 1900	6 in Läng + 05 P. + 35 in Pap.
170	(4 × 7) 13 (5 × 8) cool	1 × 170	Wundelw. 3 Wundelw.	2150 × 66	4,4
187	(4 × 7) 5 (5 × 8) cool	1 × 187	Wundelw. 1 Wundelw.	2150 × 26	3,5

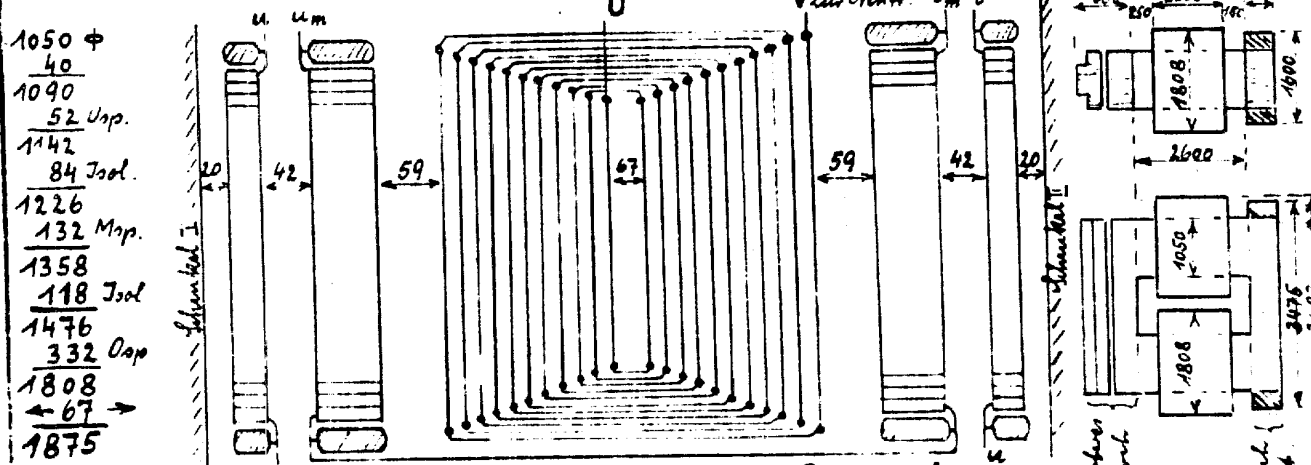
d	q	n	kg	J · R	ZV %	kW	m ² 33% d ₀	W/m ²
1642	118	366	6100	198	14 35 max	226	155	1460 (1800 8.360 kV)
1292	360	397	4420	170	14+5	202	140	1400 (1700)
1116	277	31	1610	37,5	4	40	59	700 (870)

Aw 243000 c 215 r 0,96 *28 1950*

d 141,7 S = 6 + 4/3 (39+65) + 4 - 135,5 = 11700000

u_g % 126 τ % 4 u_s % 1315 u_r % 0,48 u_k % 13,2

kg. IV <i>Reaktion u. EIIa</i>	59000+	kW.	~ 175
III u v w x		kW	
kg. Wickl.	12130+ <i>Reaktion u. EIIa</i>	kW. Wickl.	480(590)



kW max. 790 (bei 360 kV auf 105 °C)
 Kessel kW m Sp. ≈ 850
 45-385 °

Grundfl. Höhe
 Davon mm gewölbter Deckel
 Wandst. mm Deckel mm
 Boden mm

Bem: Die Konstruktion für die Ober- und Mittelspannungswicklung, sowie die angenommenen Haupt-Isolation ist bei Lössführung d. Vorzeichen zu bestätigen. Schirmring liegt im Jahrabschnitt.

De f. Usp. 1/1 für 400/220 kV 480 A
 " Msp. 2 " 110 " 1600 A
 De f. Usp. 2 " 385 " 950 A

Wicklung: Osp. beide Schenkel in Serie
 " Msp. " " " parallel
 " Usp. " " " parallel
 einschleift 12% unbestimmte
 Leert-Verluste 4126

Oben: Wicklung gegen Kasten für 800 kW Prüfapp. eadieren
Träger nicht voll isoliert
Hierzu Reaktionspole
 Juni 8 für 440 kV Prüfapp. EIIa

TRO

Unter Berücksichtigung der
Faktor des Schritts der
M/K vom 25.10.48

Entwurf XI

15

25X1A

(bei 360 kV Vollast in eng = 0,7)

MVA 100/100/33	verk. 400000 V/Ph 231000	121000 70000	38500 38500	(A max 487 A 433 1590 1430 452 856	50 Hz
kW _u 160	Wdg. 1148	348	192	Kühlung OFA	
kW _i 440	Schaltg. E [Y-y-α bei Dreistrombetrieb]			tü Cu°	
uk % 13	0/M 13 M/U 25,5-75 O/U 8,5-13	Pr. Sp. kV 210 90	J 100+150/150 0/M=30	5 m Pap + 5 m Lini + 10 m Pap + 5 m Lini + 5 m Pap	VDE 0532

*) Dsp. Hüllsp. nicht gerundet. Total f. U_{sp} = 220 kV (Schleifungsspannung)

TYP KWF 125002/400

B 13100
(12450)

Ø 1050 MA 1900 L 2500+1000 6900 U 201

Wdg/Schkl	Draht	Sp x Wdg	Lg x Wdg	a - b	Kan.
574	2-16-4 (35-185)	1 53	2200	2200	6 m Lini + 0,5 m Pap
348	2-16-4 (35-185)	1 53	2200	2200	6 m Lini + 0,5 m Pap
192	2-16-4 (35-185)	1 53	2200	2200	6 m Lini + 0,5 m Pap

d	q	h	kg	Sp. R	ZV	kW	m ³	W/m ² einseitig
1528	142	3,05	645	146	17	17,1	145	1180 (1450 bei 360 kV)
1615	128	3,4	2620	74	8	80	58	1380 (1740)
1765	111	3,9	3240	119,5	5	126	74	1700 (2200)
1456	470	3,04	700	157	17	18,4	135	1370 (1680)
1322	416	3,44	4800	138	6	147	8,1	1000 (3200)
1122	276	3,7	1660	39	7	42	20	2100 (3500)

Aw 249000 c 213 0,96 Re 2020

d 149,2 S = 315 + 1/3 (4 + 394) + 37 + 26 = 121,0 11500000

u_s % 12,7 = % 2 u_B % 12,99 u_r % 0,44 u_k % = 13

kg. IV a-b-c-d	58500+	Kanäle u. E _{II} a	kW	160 (140)
III u v w x			kW	
kg. Wickl.	13665+	Kanäle u. E _{II} a	kW. Wickl.	440 (540)

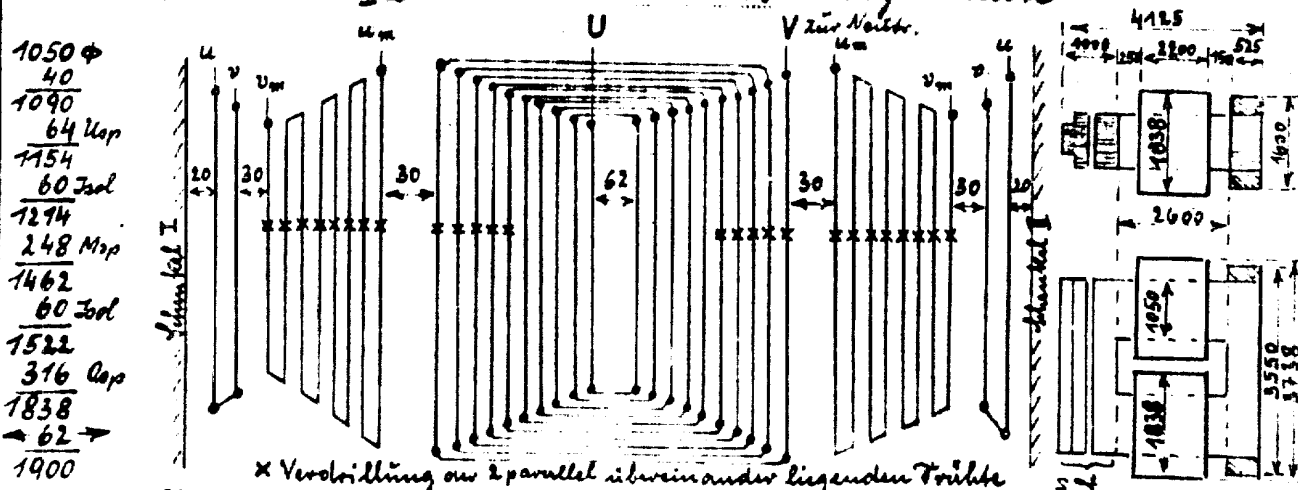
kW max. 750 (bei 360 kV auf 106°C)
Kessel
kW m Sp. = 850
45-385°

..... X Grundfl. Höhe
Davon mm gewölbter Deckel
Wandst. mm Deckel mm
Boden mm

Bem.: Für die Durchführung
ist die angenommene
Drehisolationsform, sowie die
Isolation der Drähte
zu berücksichtigen.
Die in beiden anderen
liegenden Drähte
sind beim Wickeln
einseitig zu umhüllen.

Dchf. Osp. 1/1 für 400/110 kV 480 A
" Msp. 2 " 110 " 1600 A
Dchf. Usp. 2 " 385 " 950 A

Wicklung: Osp. beide Schkl. in Serie
" Msp. " " parallel
" Usp. " " "
einschließl. 12% unbestimmbarer
Leitungs-Verluste



Oberring-Wicklung gegen Kanäle für 800 kV Prüfspannung isolieren.

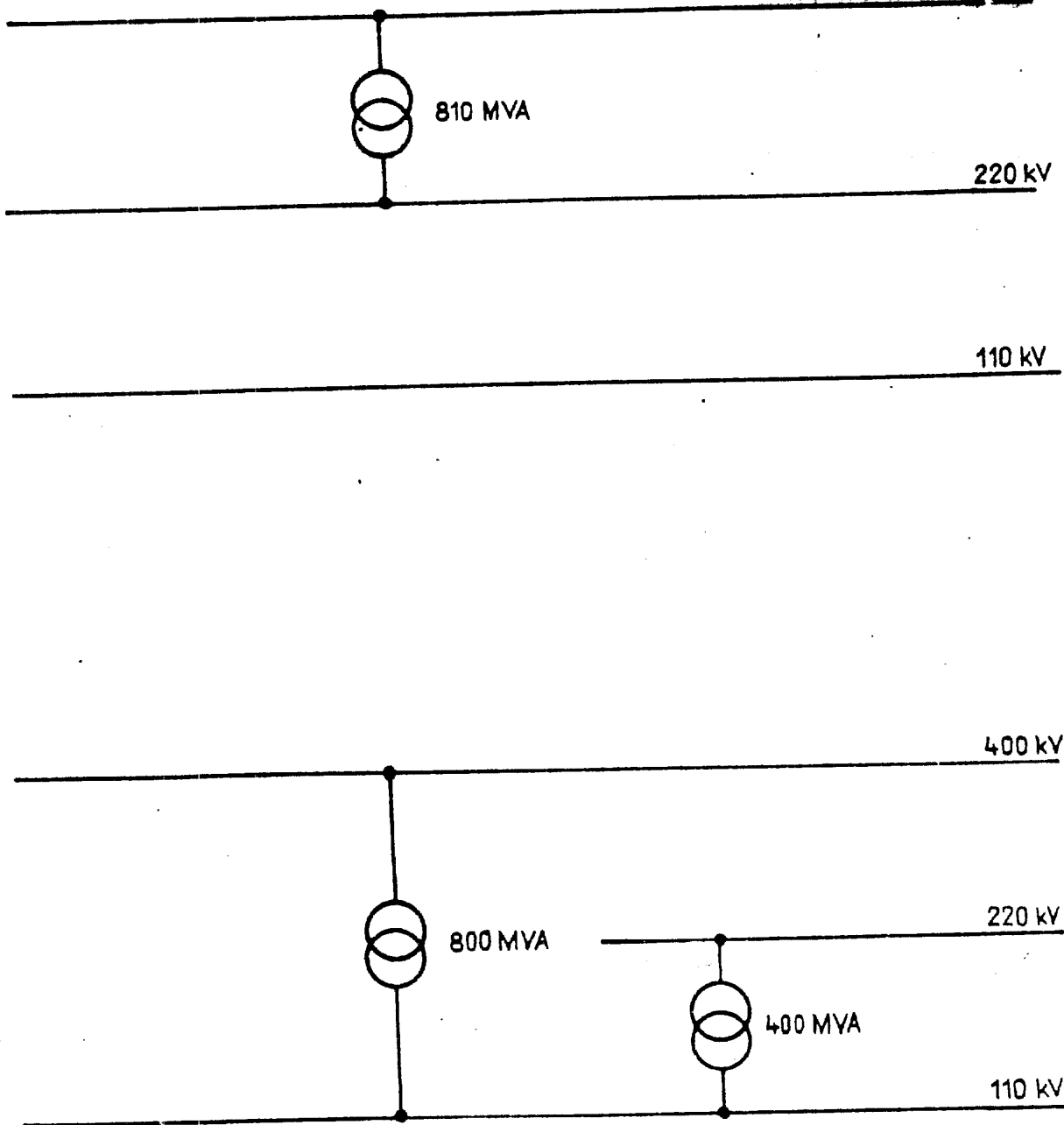
Für Transf. nicht voll isoliert! Hierin Berücksichtigung

Approved For Release 2002/01/16 : CIA-RDP83-00415R005200010004-8

Transformator - Bericht 400 kV

TR0

25X1A



Coupling of the networks

Bild 1

Kopplung der Netze

Transformator - Bericht 400 kV

TRO

Transformator KWF 160003/400

25X1A

Zusammenstellung der technischen Daten des Haupttransformators,
bestehend aus 3 Einphasentransformatoren.

*Compilation of the technical data of main transformer, consisting of
3 single phase transformers*

A. Allgemeine elektrische Kenngrößen.

general electrical characteristics

	bezogen auf den <i>as applied to</i>	einph. Trafo <i>single-phase transformer</i>	Drehstromsatz <i>3-phase unit</i>
1	Nennleistung in MVA <i>rated output</i>	133 / 133 / 45	400/400/135
2	Nennübersetzung KV <i>rated steps</i>	231 / 63,5 / 25	400/110 / 25
3	Schaltung <i>circuit</i>	E	$\lambda / \lambda / \Delta$
4	Kurzschlußspannung % <i>short-circuit voltage</i>	0/M=13,5, 0/U=8,1, M/U=2,1	—
5	Prüfspannung KV <i>test voltage</i>	0=800/460, M=230 KV, U=60	—
6	Eisengewicht aktiv t <i>active iron weight</i>	77	231
7	Kupfergewicht t <i>copper weight</i>	18	54
8	Eisenverluste kW <i>iron losses</i>	170	510
9	Kupferverluste kW <i>copper losses</i>	500	1500

Special conditions & prerequisites
B. Besondere Bedingungen bzw. Voraussetzungen.

- 1 Zulässige Spannungserhöhung 10% dauernd *Permissible voltage increase 10%, continuous*
- 2 Abgegebene Leistung bei 10% höherer Spannung und $\cos \varphi = 1$ 400 MVA *Output at 10% increased voltage and $\cos \varphi = 1$*
- 3 Leistung fällt ab 360 kV proportional mit der Spannung und dem $\cos \varphi$ *Output below 360 kV is proportional to voltage and $\cos \varphi$*
- 4 Isolation der 400 kV Wicklung abgestuft von 400 - 200 kV *400 kV winding staggered from 400 - 200 kV*
- 5 Transformator mit Öl und Durchführungen kompl. bahntransportfähig *Transformer with oil and leads can be transported by RR*

Bild 2

Technische Daten

Transformator - Bericht 400 kV

25X1A

TRO

Transformator KWF 125002/400

Zusammenstellung der technischen Daten des Haupttransformators,
bestehend aus 3 Einphasentransformatoren.

*Compilation of the technical data of the main transformer, consisting
of three single-phase transformers*

A. Allgemeine elektrische Kenngrößen
general electrical characteristics

	bezogen auf den <i>as applied to</i>	einph. Trafo <i>single-phase transformer</i>	Drehstromsatz <i>3-phase current unit</i>
1	Nennleistung in MVA <i>rated output</i>	100 / 100 / 33	300 / 300 / 100
2	Nennübersetzung kV <i>rated steps</i>	231 / 70 / 38,5	400 / 121 / 38,5
3	Schaltung <i>circuit</i>	E	$\Delta / \Delta / \Delta$
4	Prüfspannung kV <i>test voltage</i>	<i>upper ult. self-excitation</i> 05 - 800 kV Selbsterregung	<i>middle lower</i> MS - 240 kV, US - 80 kV

Special conditions and prerequisites
B. Besondere Bedingungen bzw. Voraussetzungen.

1	<i>Minimum voltage at full load and cos $\phi = 0,7$ is 360 kV</i> Minimalspannung bei voller Belastung und $\cos \phi = 0,7$ beträgt 360 kV
2	<i>Max. operating voltage 450 kV</i> Die Maximal-Betriebsspannung beträgt 450 kV
3	<i>If load is shut off, voltage may temporarily rise to 700 kV</i> Bei Abschaltung der Last kann die Spannung kurzzeitig auf 700 kV ansteigen
4	<i>Insulation of transformer to be built for network with rigidly grounded neutral</i> Die Isolation des Transformators soll für ein Netz mit starr geordneten Nullpunkt angefertigt werden
5	<i>Cooling equipment mounted separately</i> Kühlanlage getrennt aufgestellt

Bild 3

Technische Daten

Transformator - Bericht 400 kV

25X1A

SECRETRO

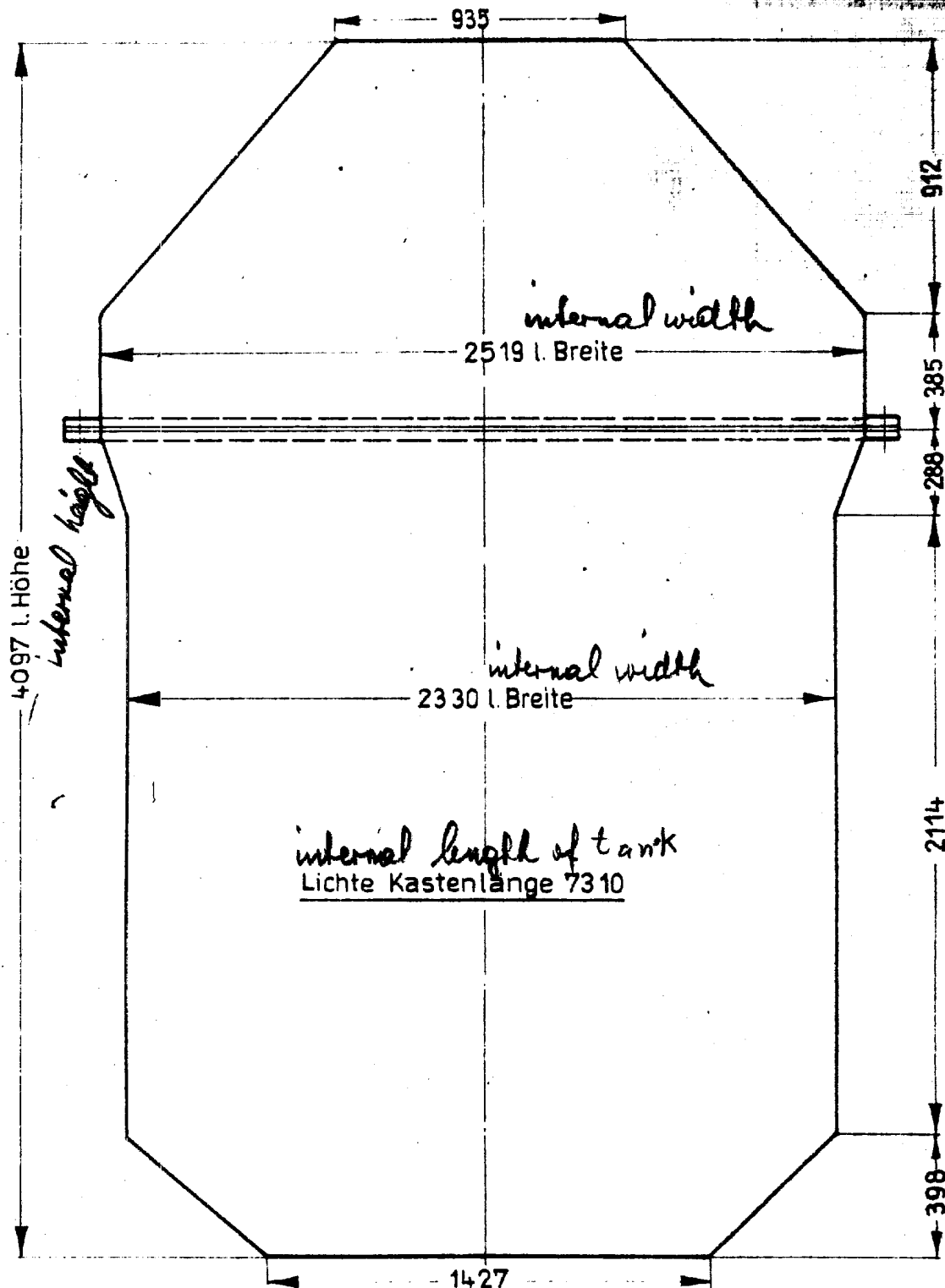


Bild 4

Kastenprofil des 400 kV Transformators

Tank profile for the 400 kV transformer

Transformator - Bericht 400 kV

TR0

25X1A

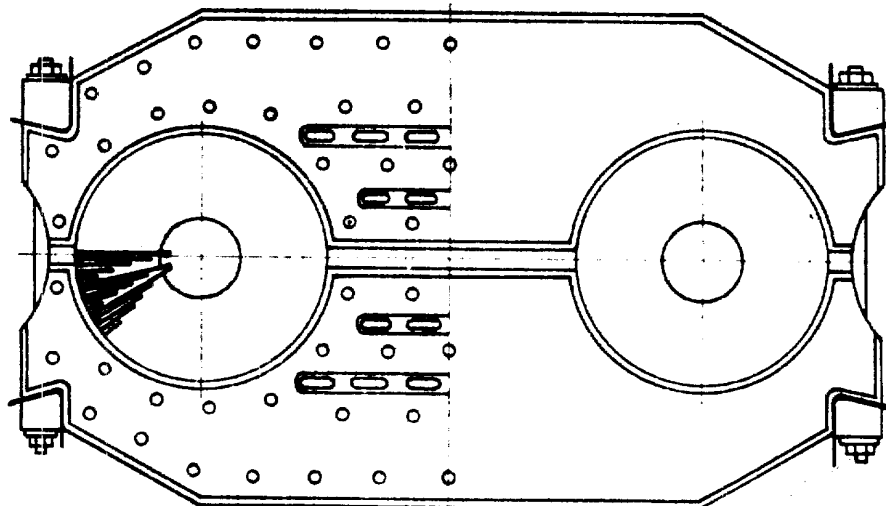
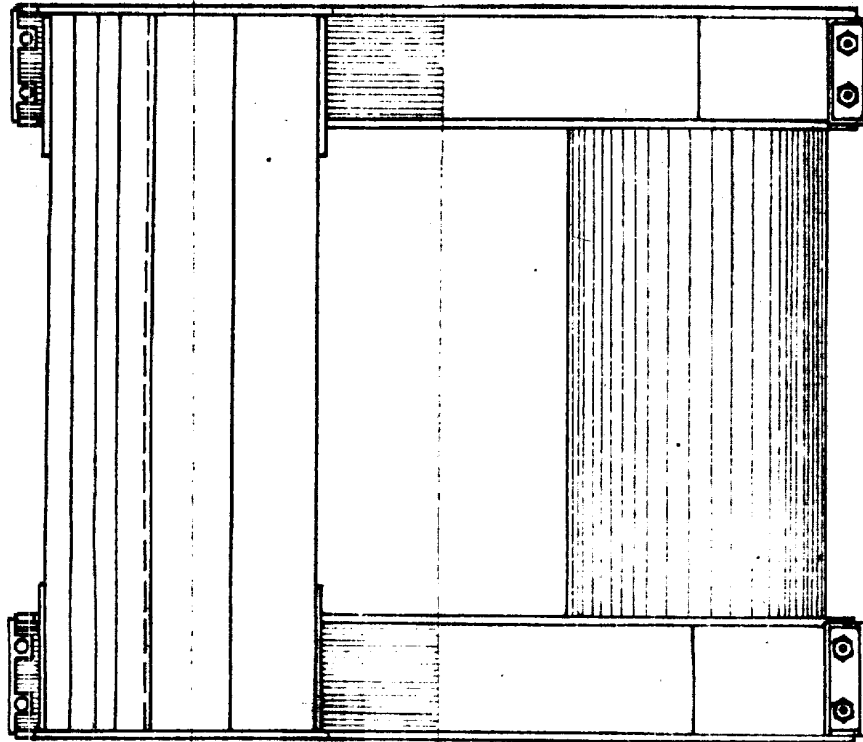


Bild 5
Radially laminated core
Radial geschichteter Kern

Transformator - Bericht 400 kV

TRO

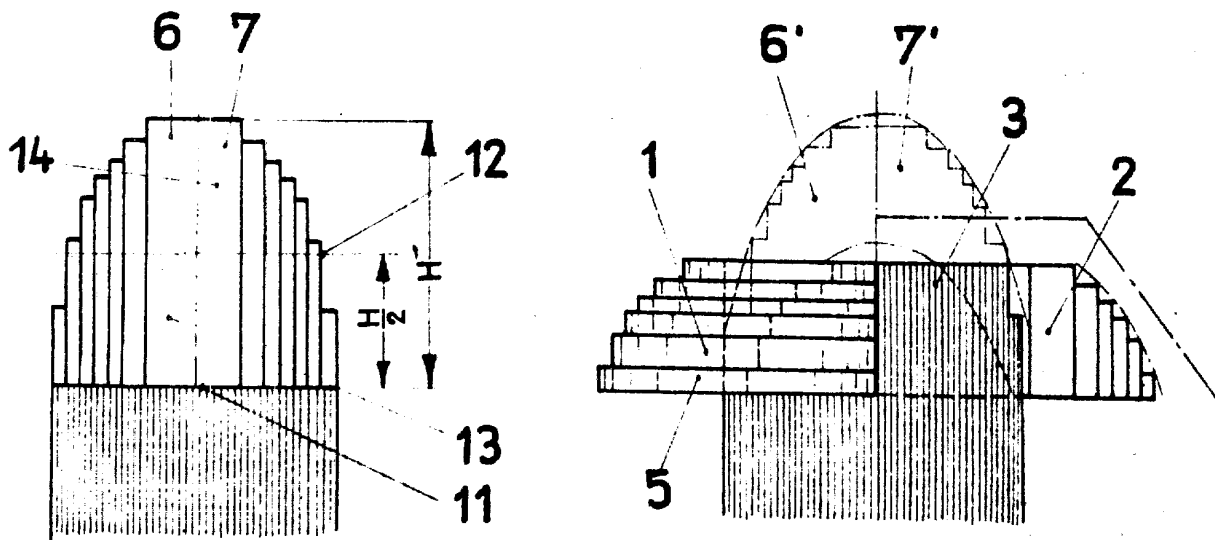
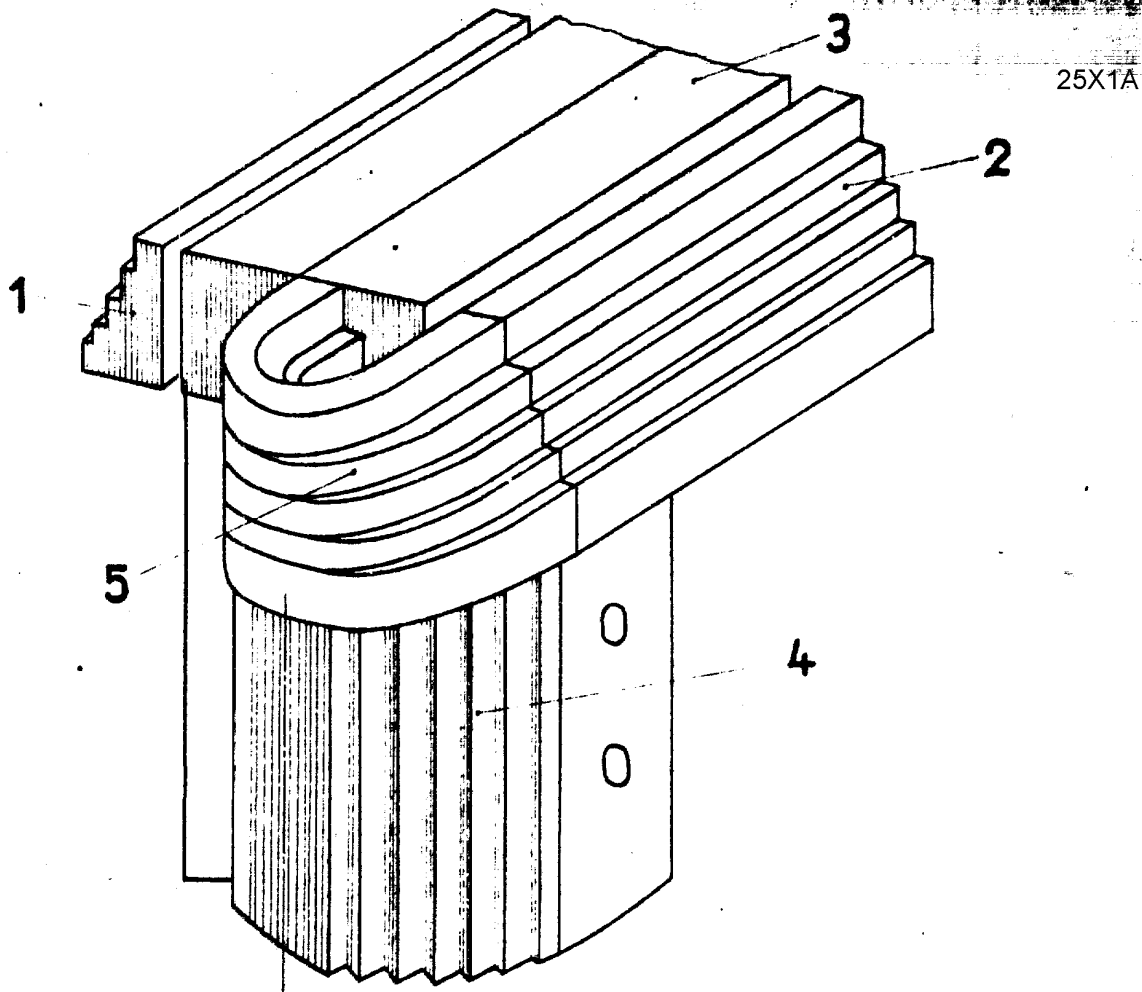


Bild 6

New core with reduced yoke
Neuer Kern mit reduziertem Joch

Transformator - Bericht 400 kV

TRO
25X1A

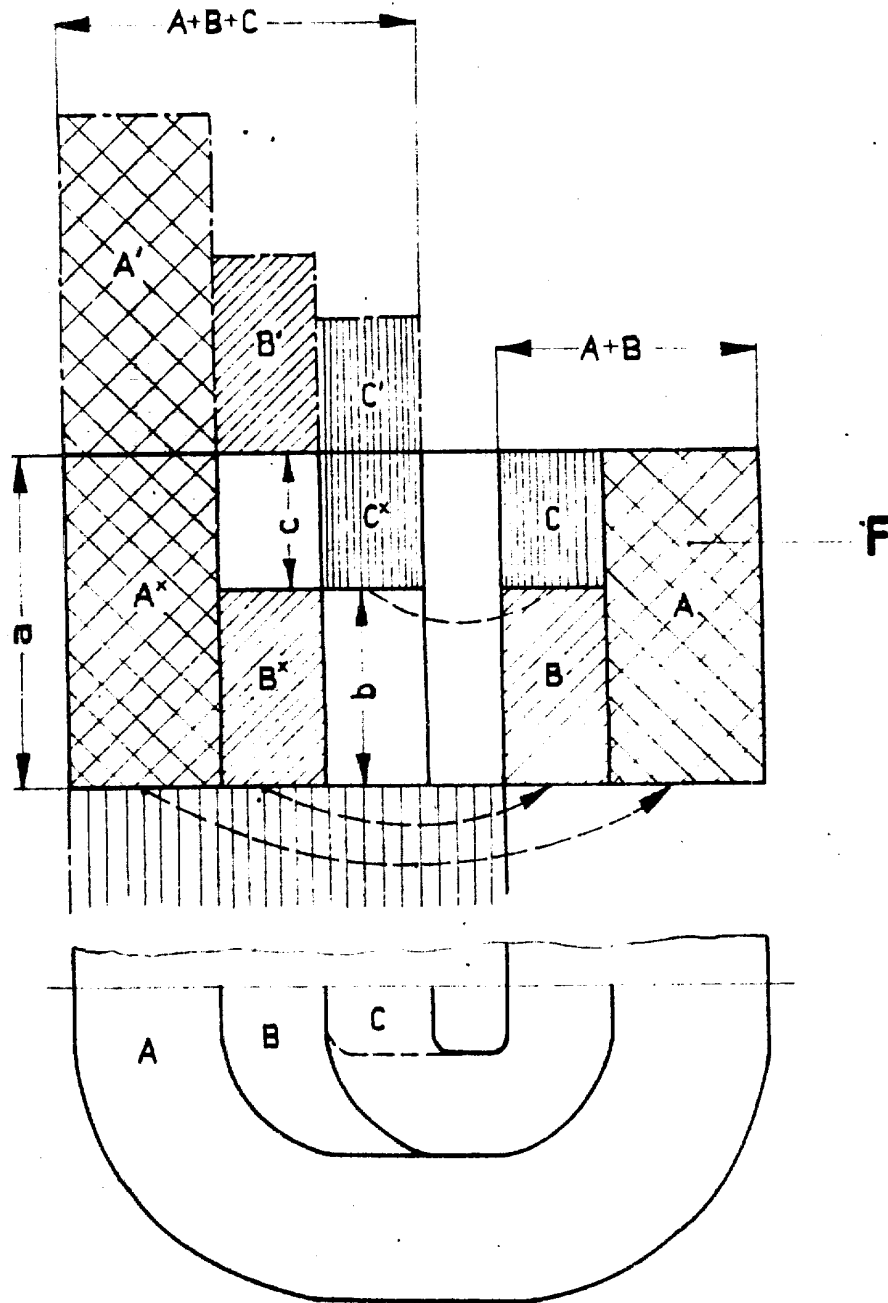


Bild 7.

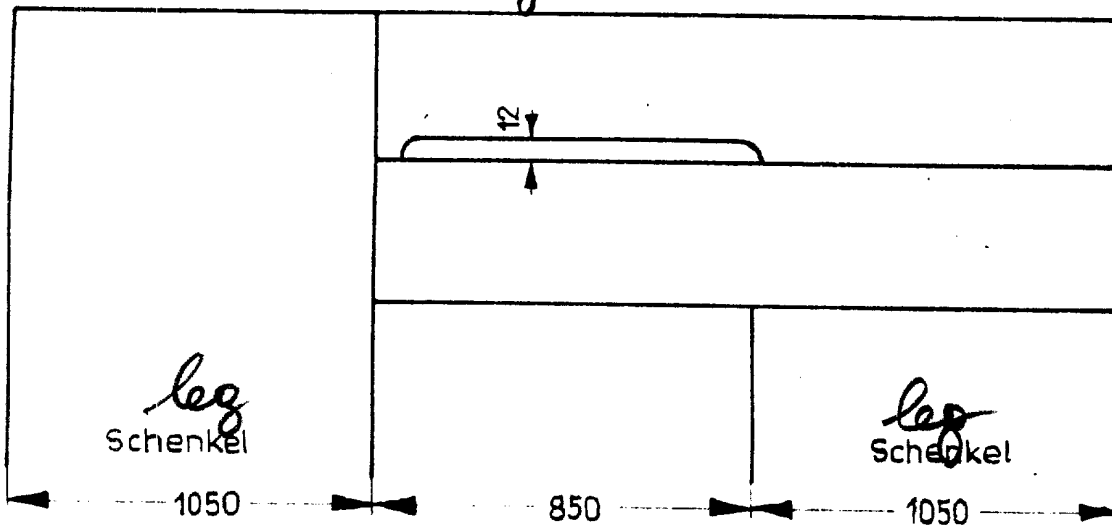
Practical version of widened yoke
Praktische Ausführung des verbreiterten Joches

Transformator - Bericht 400 kV

TRO

25X1A

Lage 1
Layer 1



Lage 2
Layer 2

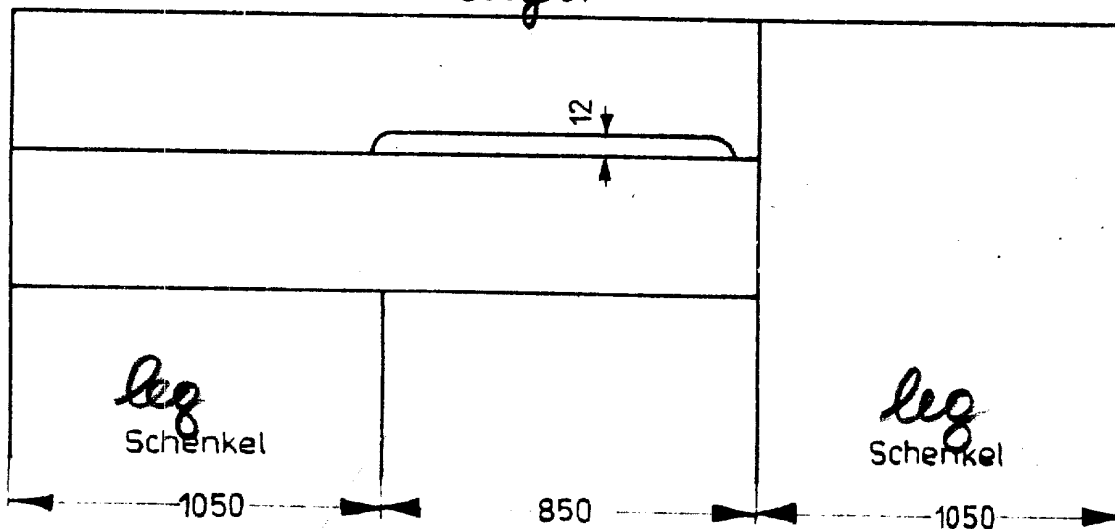


Bild 8
Plan of layers for upper yoke
Schichtplan für oberes Joch

Transformator-Bericht 400 kV

TRO

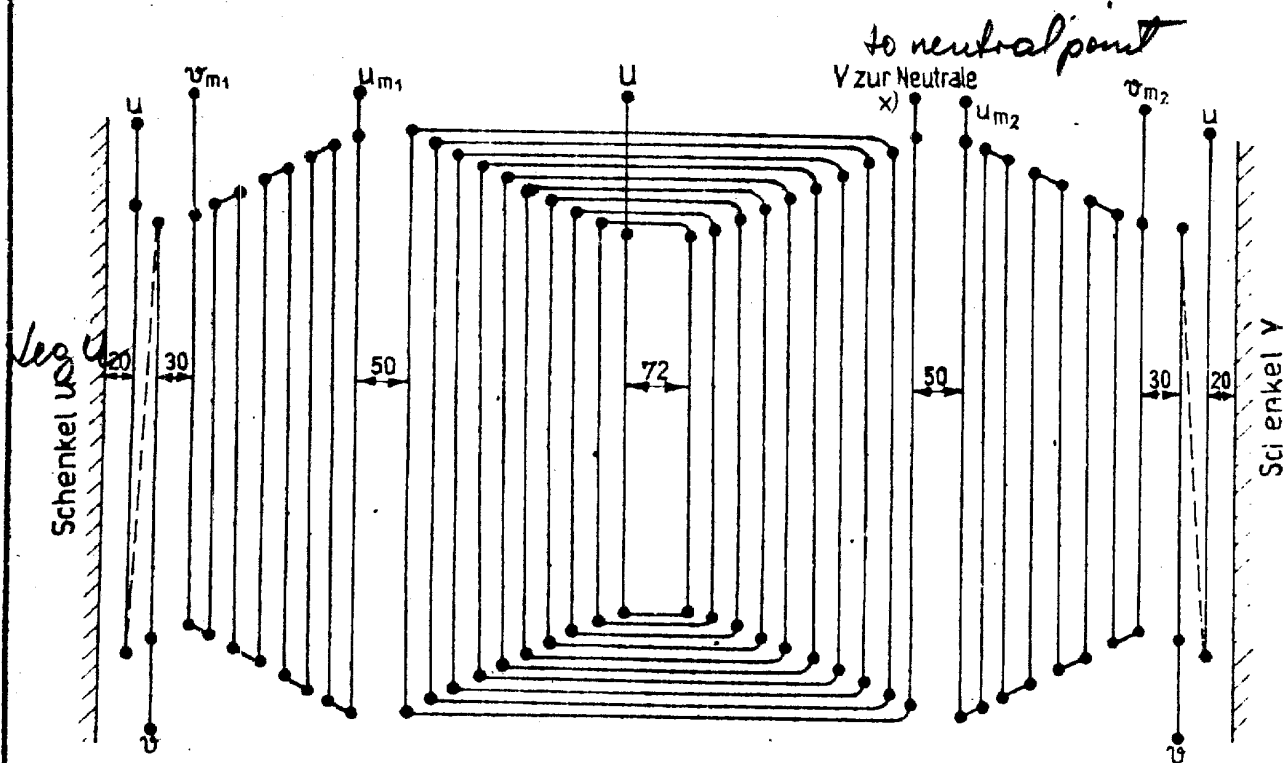


Bild 9

Spulen-Anordnung
Arrangement of coils

Transformator-Bericht 400 kV

TR0

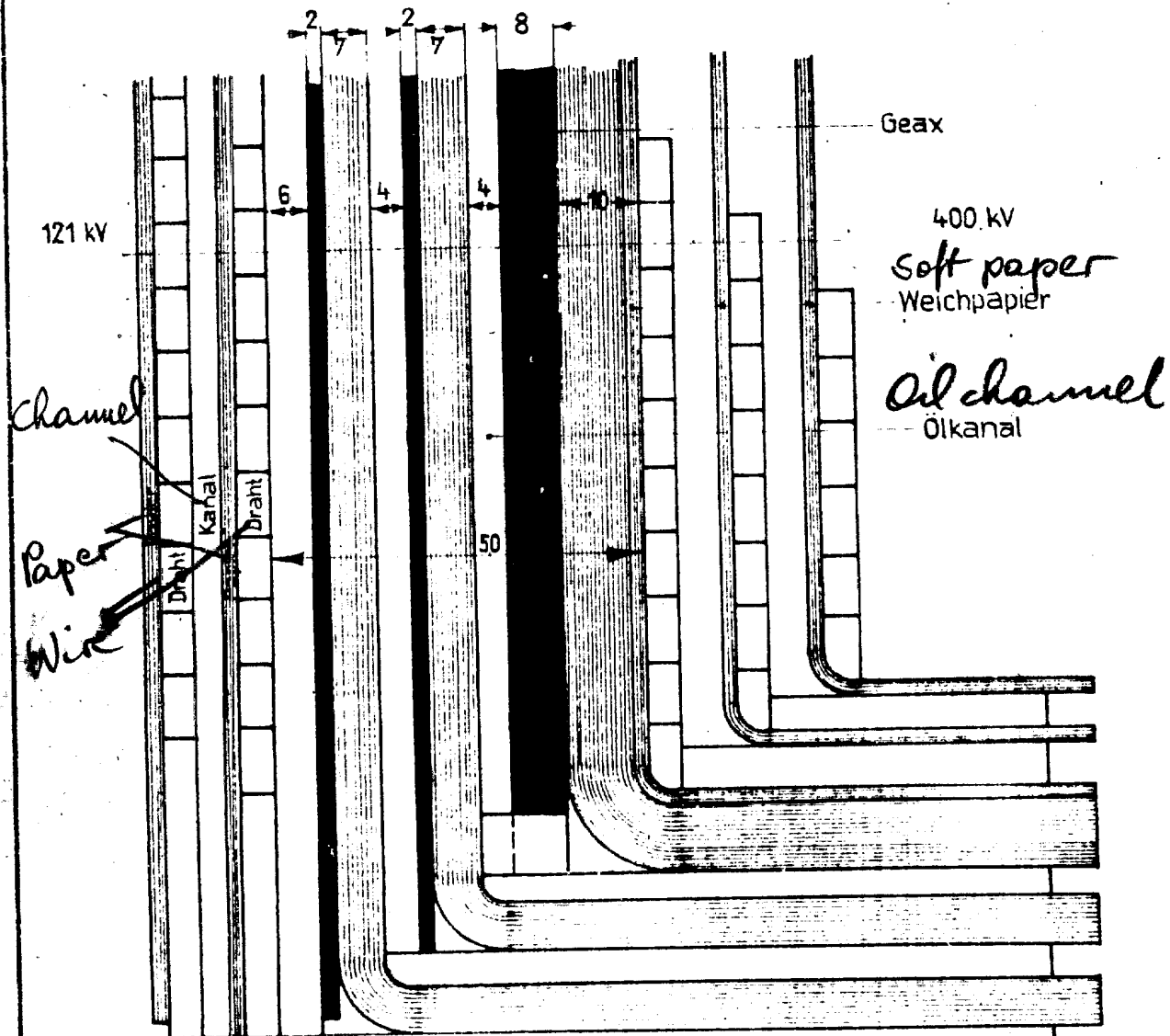


Bild 10

Hauptisolation
Main insulation

~~SECRET~~

Transformator-Bericht 400 kV

TRO

25X1A

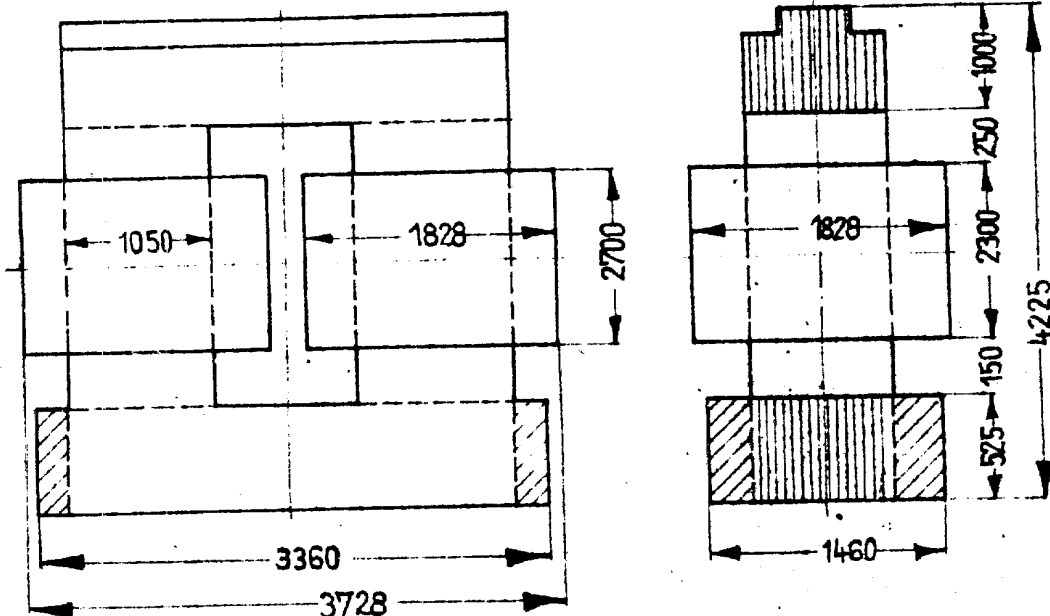


Bild 11

Trafo-Abmessungen. Berechnungs-Entwurf IX
 Dimensions of transformer. Design IX

SECRET

TR0

Transformator-Bericht 400 kV

25X1A

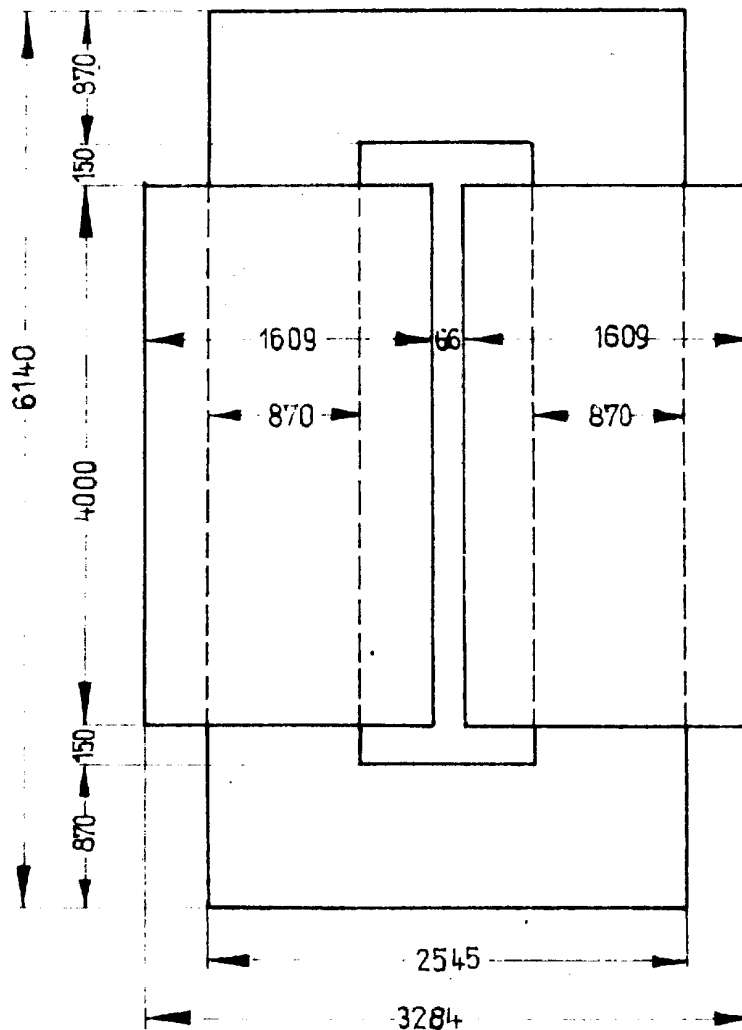


Bild 12

Trafo - Abmessungen. Berechnungs-Entwurf VII c

Dimensions of transformer. Design VII c

Transformator-Bericht 400 kV

TR0

25X1A

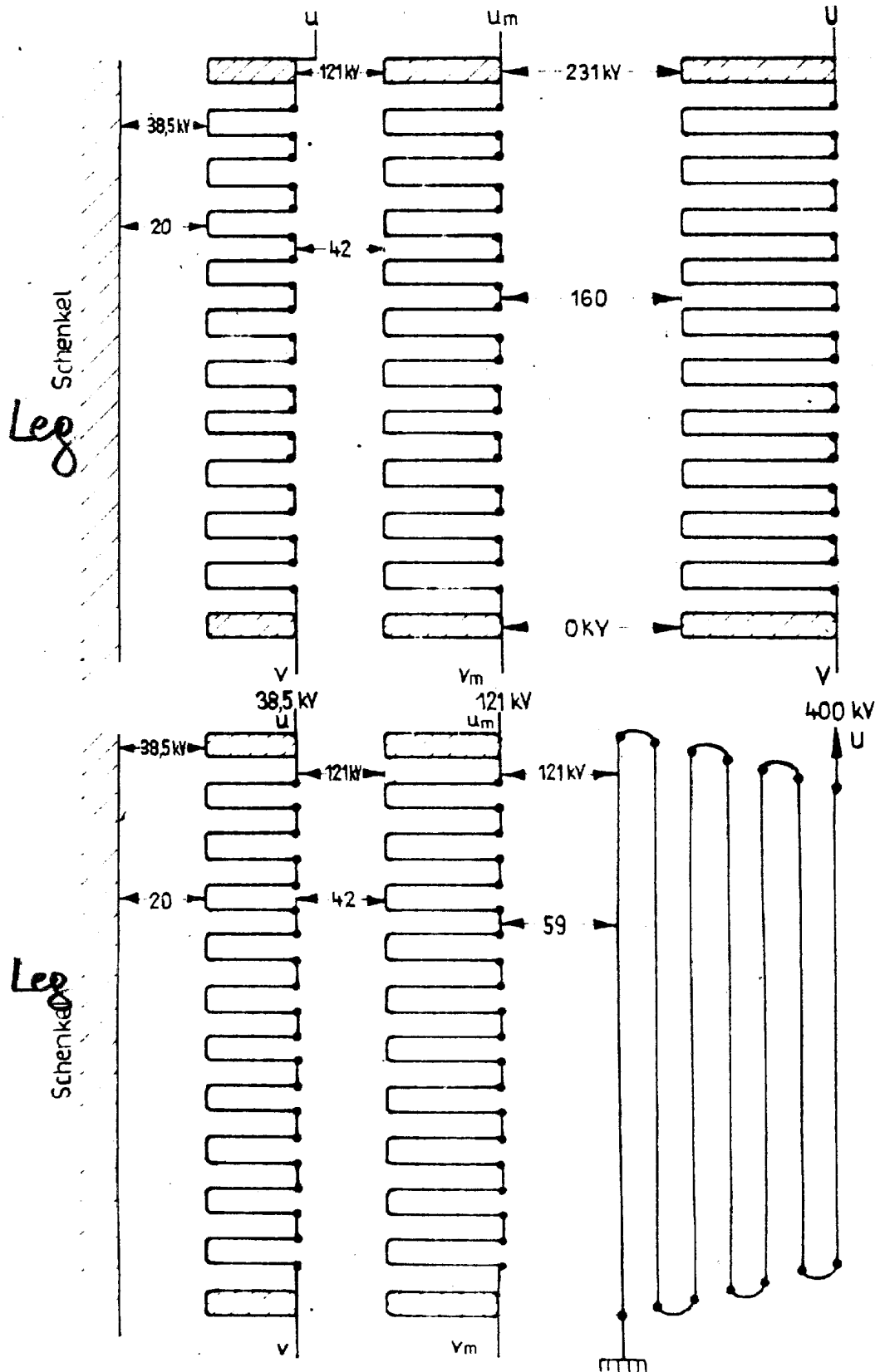


Bild 13

Insulation distance with interleaved & concentric windings
 Isolations-Abstand bei versterkter und Lagenwicklung

Transformator-Bericht 400 kV

TR0

25X1A

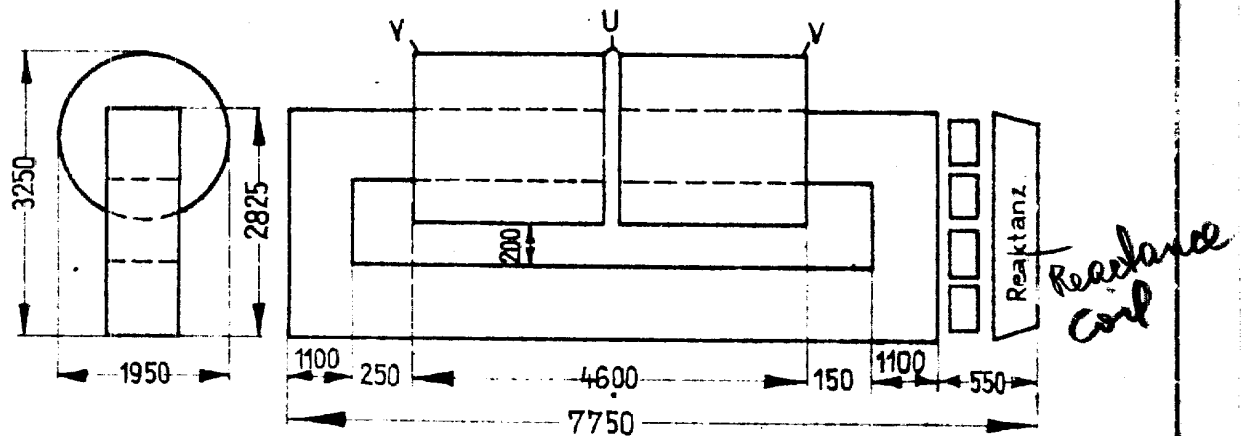


Bild 14

Trafo-Abmessungen. Berechnungs-Entwurf I

Dimensions of transformer, Design I

Transformator-Bericht 400 kV

TR0

25K1A

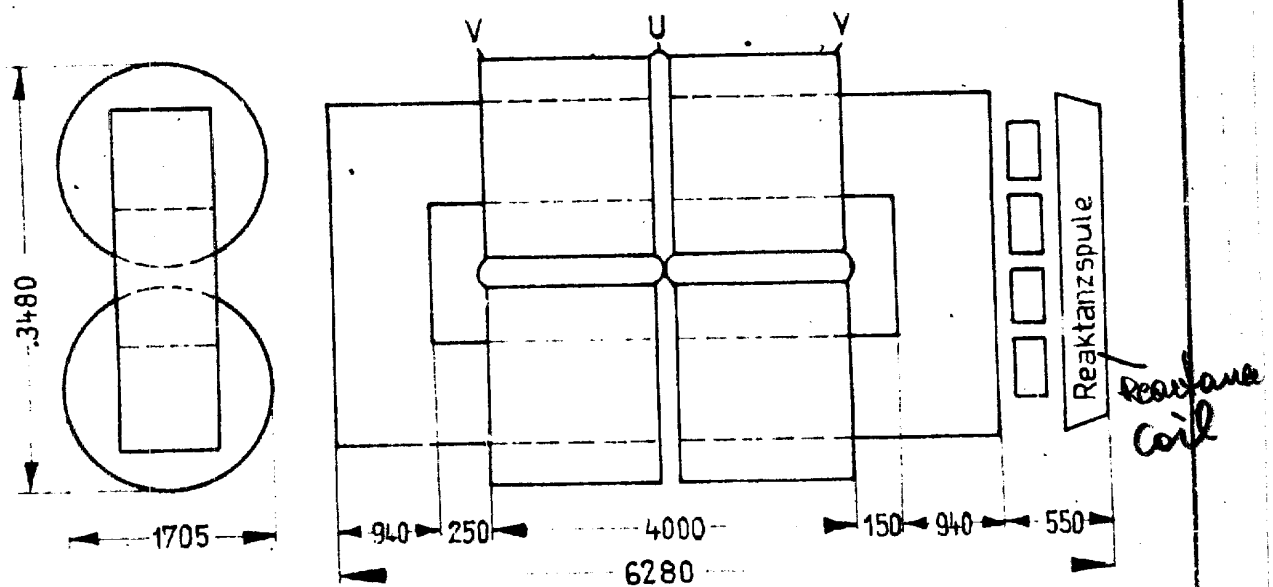


Bild 15

Trafo-Abmessungen, Berechnungs-Entwurf II

Dimensions of transformer. Design II

Transformator-Bericht 400 kV

TR0

25X1A

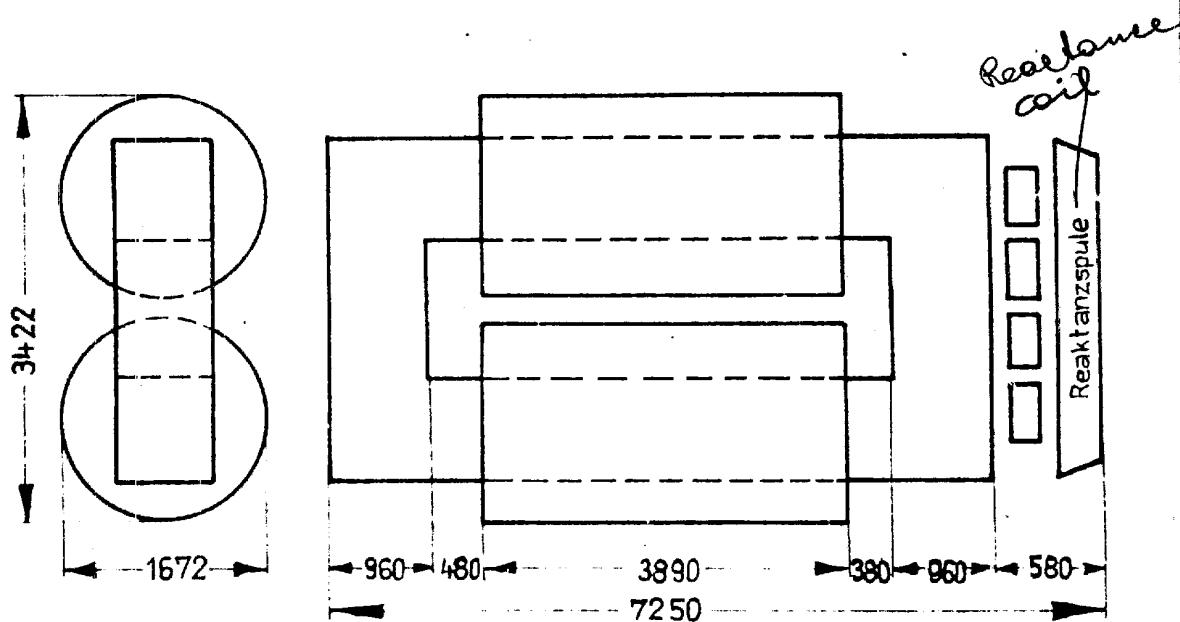


Bild 16

Trafo-Abmessungen. Berechnungs-Entwurf IV

Dimensions of Transformer. Design IV

Transformator-Bericht 400 kV

TRO

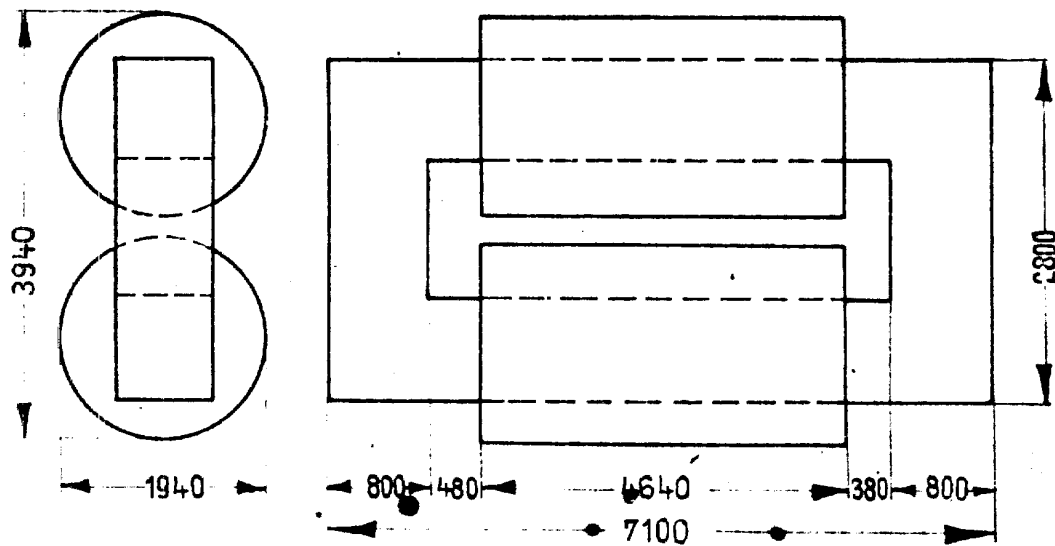


Bild 17

Trafo-Abmessungen. Berechnungs-Entwurf V
 Dimensions of Transformer. Design V

Transformator-Bericht 400 KV

TR0

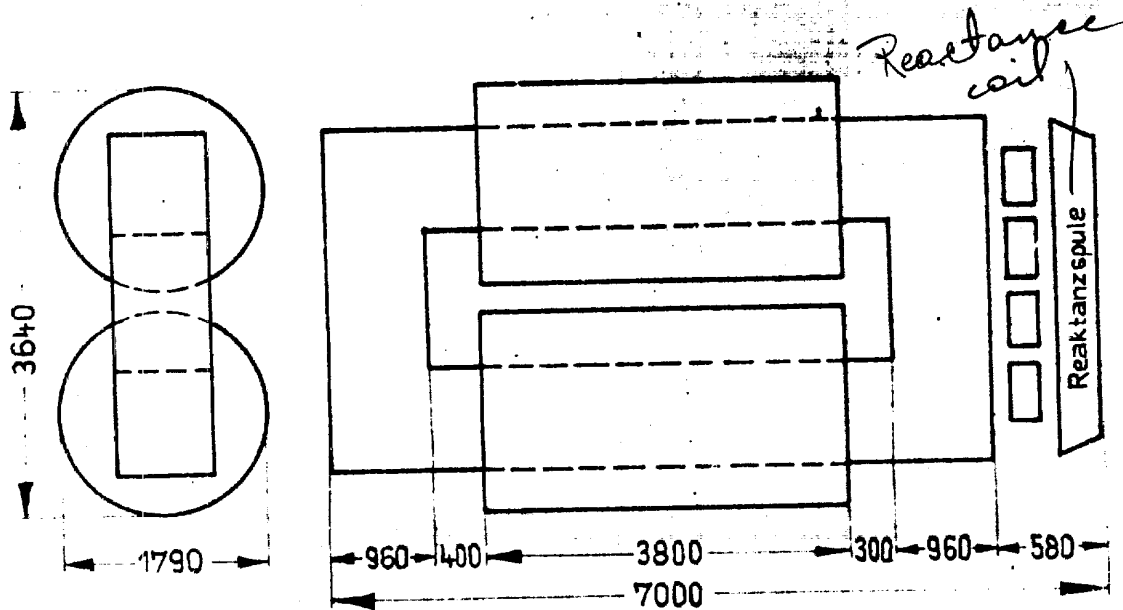


Bild 18

Trafo-Abmessungen. Berechnungs-Entwurf VIII

Dimensions of Transformer. Design Vm

Transformator-Bericht 400 kV

25X1A

TR0

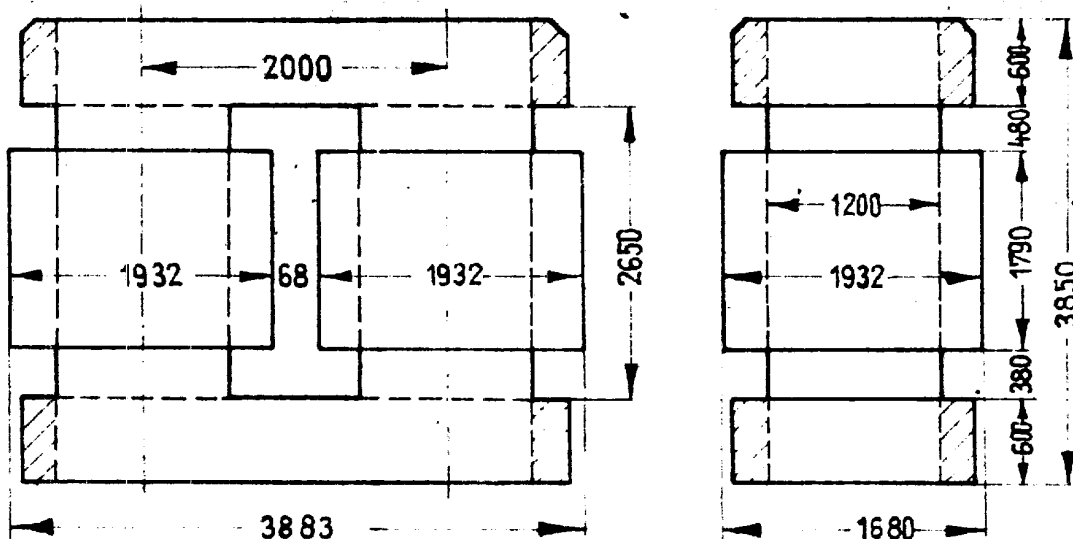


Bild 19

Trafo-Abmessungen. Berechnungs-Entwurf VI

Dimensions of Transformer. Design VI

Transformator-Bericht 400 kV

TRO

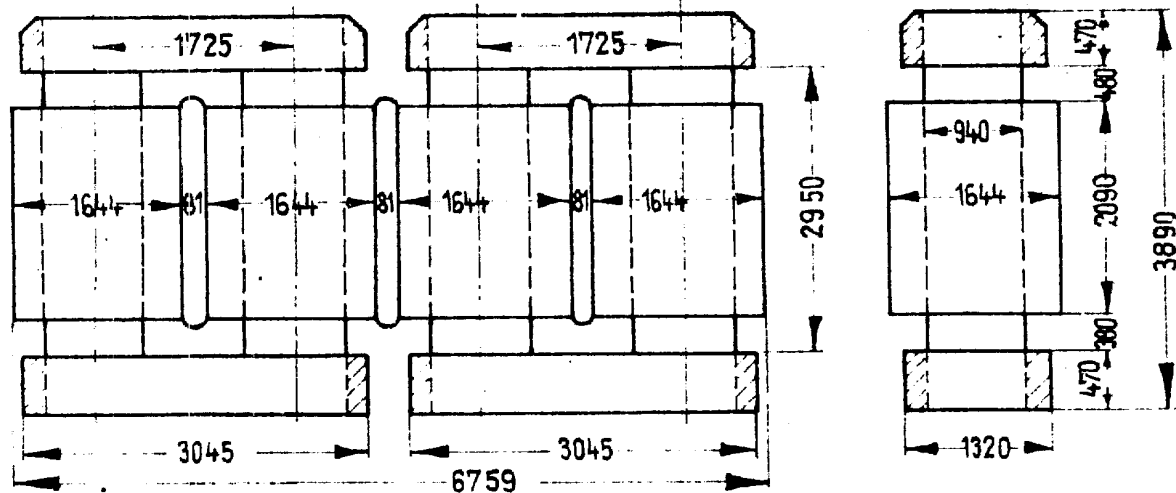


Bild 20

Trafo-Abmessungen . Berechnungs-Entwurf VII

Dimensions of Transformer. Design VII

Transformator-Bericht 400 kV

TRO

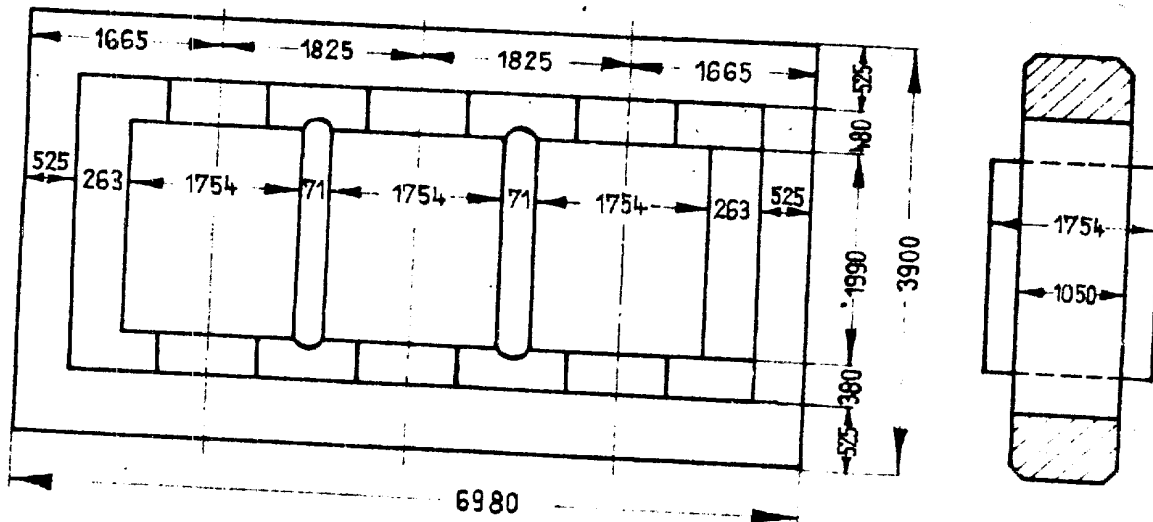


Bild 21

Trafo-Abmessungen Berechnungs-Entwurf VII B
 Dimensions of Transformer Design VI B

neutra

Transformer with rigidly grounded secondary
B. Transformer mit starre geerdetem Nullpunkt.

Winding

Let

6666

Paras

transferred
dismantled transport

Transformer with fully insulated neutral
C. Transformer mit voll isoliertem Nullpunkt.

Remarks
Bemerkun

Consolidation of the designs Zusammenstellung der Entwürfe

Abschluss-EntwurfsberichtEntwurfstransformatoren für 400 kV und 100 MVA Leistung.Inhaltsverzeichnis1. Einleitung.

1.) Historische Entwicklung bis 1945.	Seite 1
2.) Technische Bedingungen.	" 5
3.) Transportfragen.	" 6

2. Transformatoren mit starr geerdetem Nullpunkt.

1.) Zwei bewickelte stehende Schenkel. Einfachkonzentrische Lagenwicklung.	" 9
2.) Sie 1), jedoch demontierter Versand.	" 28
3.) Zwei bewickelte stehende Schenkel 38,5 und 121 kV-Seite mit verstärkter Wicklung.	" 30
4.) Ein bewickelter liegender Schenkel mit verstärkter Wicklung.	" 31
5.) Zwei bewickelte liegende Schenkel mit verstärkter Wicklung.	" 34

- II -

<u>C. Transformatoren mit vollisoliertem Nullpunkt.</u>	<u>Seite</u>
1.) Zwei bewickelte liegende Schenkel mit ver- stärzter Wicklung	34
2.) Zwei bewickelte liegende Schenkel mit ver- stärzter Doppelkonzentrischer Wicklung.	36
3.) Zwei bewickelte liegende Schenkel mit einfachkonzentrischer Lagenwicklung.	37
4.) Zwei bewickelte stehende Schenkel mit ein- fachkonzentrischer verstärzter Wicklung.	38
5.) Zwei Einphasentransformatoren mit stehendem Schenkel und verstärzter Wicklung.	39
6.) Fünfschenkelkern mit drei bewickelten Schen- keln für Einphasenbetrieb.	40
<u>D. Zusammenfassender Vergleich der Transformatoren- entwürfe.</u>	40
<u>E. Schlussbetrachtung.</u>	42

A. Einleitung.1.) Historische Entwicklung bis 1945.

Der erste Entwurf eines 400 kV-Leistungstransformators wurde in der AEG/Transformatorenfabrik am 25. März 1925 durchgerechnet. Es handelte sich damals um den Übergang in der Übertragungsspannung von 110 kV auf 220 oder 380 kV. Wie bekannt, fiel die Wahl dann auf Grund technischer Überlegungen zu Gunsten der 220 kV-Übertragungsspannung aus. Die technischen Daten des Transformators waren folgende: Dreiphasentransformator für 100 000 kVA mit Tertiärwicklung für 35000 kVA.

Uebersetzung: 380 000/110 000/5800 Volt.

Schaltung: Stern Stern/Dreieck.

Nühlung: 0,4 A Frequenz: 50.

OS-Mittelpunkt: starr geerdet.

Prüfspannung der OS-Wicklung 440 kV statisch
und 600 kV durch Selbsterregung.

Konstruktive Daten waren:

Rundschenkelkern mit einem Schenkeldurchmesser von 1200 mm.

Mittenabstand 2350 mm und Schenkellänge 4000 mm.

Das aktive Eisengewicht betrug 124000 kg,

die Eisenverluste 440 kW

Das Kupfergewicht war 12 200 kg und die Kupferverluste 530 kW.

Der Transformator sollte demontiert versandt und am Montageort zusammengebaut werden.

Nachdem die Entscheidung zu Gunsten der 220 kV-Übertragungsanlage gefallen war, erlosch das Interesse an dem 400 kV-Projekt. Erst 14 Jahre später, im Dezember 1939, wurde dieses Projekt erneut akut.

Zunächst war die Kupplung des 400 kV-Netzes mit den bereits vorhandenen Netzen zu klären. Hierfür kamen in Frage:

- a) die direkte Kupplung 400/220 kV
- b) die indirekte Kupplung 400/110 kV mit einer weiteren Kupplung von 110/220 kV. Als Übertragungsleistung wurden 800 MVA vorgesehen (Bild 1).

Bei der direkten Kupplung 400/220 kV muss die gesamte Leistung von 800 MVA übertragen werden.

Bei der indirekten Kupplung ist zunächst die gesamte Leistung von 800 MVA auf 110 kV zu übertragen. Da ein Teil dieser Energie - geschätzt 50 % - sicherlich im 110 kV-Netz verteilt wird, genügt n.B., für die Kupplung 110/220 kV mit dem Rest von 400 MVA zu rechnen.

Es sind demnach erforderlich:

- a) 9 Einphasentransformatoren je 90 MVA = 810 MVA 400/220 kV
- b) 6 Einphasentransformatoren je 133 MVA = 800 MVA 400/110 kV
- 2 Dreiphasentransformatoren je 200 MVA = 400 MVA 110/220 kV

Die Kosten und Verluste verteilen sich bei diesen beiden Ausführungen wie folgt:

Die Kosten eines 90 MVA-Transformators 400/220 kV = k = 100 %
gesetzt

- a) 9 Einphasentransformatoren je 90 MVA = 810 MVA
 $9 \cdot k$ = 900 %
 $9 \cdot 700 \text{ kW}$ = 6300 kW
- b) 6 Einphasentransformatoren je 133 MVA = 800 MVA
 $6 \cdot k \cdot 1,125$ = 675 %
 $6 \cdot 760 \text{ kW}$ = 4560 kW

- 3 -

2 Dreiphasen-Transformatoren je 200 MVA = 400 MVA

2 . k . 1 , 135

2 . 950 kW

Zusammenfassung:

Art	Leistung MVA	Spannung kV	Verlust kW	Kosten
a	810	400/220	6300	900 \$
b	800	400/110	6460	902 \$
	400	110/220		

Die Kostenrechnung zeigt, dass die Ausführung nach Art "b" wirtschaftlicher ist. Da ausserdem die Konstruktion der 9 Stück 90 MVA-Transformatoren mit einer Übersetzung von 400/220 kV seinerzeit unüberschreibbare technische Schwierigkeiten bereitete, wurde die Lösung nach "b" gewählt. Das Übersetzungsverhältnis wurde infolgedessen zu 400/110 kV festgelegt. Für die 110 kV-Seite waren 3 einphasige Regeltransformatoren für einen Regelbereich von $\pm 20\%$ vorgesehen. Neben den beiden Hauptwicklungen erhalten die 400 kV-Transformatoren noch eine Tertiärwicklung für 25 kV und 45 MVA, die als Dreieck-Ausgleichswicklung dient. An diese Wicklung sollten 3 dreiphasige Luftspaltrosseln zur Ladekompensation von je 40 MVA angeschlossen werden. Gleichzeitig diente die Dreieckwicklung zum Anschluss einer neuartigen Erdschlusspule. Durch Ankopplung der Erdschlusspule an die Dreieckwicklung des Transformators wird die im Erdschluss auftretende Sternpunktspannung von 230 kV auf 150 kV gesenkt. Die Prüfspannung für den Nullpunkt wurde daher auf 460 kV festgelegt. Die Überspannungswicklung sollte demzufolge durch Selbsterregung mit 460 kV am Sternpunkt und

- 4 -

SECRET

- 8 -

Die Entscheidung, welche Ausführungsart zu wählen ist, muss jedoch letzten Endes dem Kunden überlassen bleiben.

Der Wandertransformator 400 kV wird mit einem Spezial - Schnabelwagen - ähnlich den 100 MVA / 200 kV - Wandertransformatoren - transportiert. Der Wagen selbst ist noch zu konstruieren. Das leichte Kesselmass ergibt sich aus dem Bahnprofil (Bild 4). Aus einer überschlägigen Rechnung ergeben sich für das Fahrzeug folgende Werte:

Transformator einschl. Mittelstück max	190 t
Drehgestelle einschl. Schnäbel	<u>70 t</u>
Gesamtgewicht	260 t
Länge über Puffer	31,5 m
Drehzapfen- Abstand	20,6 m
2 Drehgestelle je 7 Achsen	

SECRET

800 kV am Eingang geprüft werden. Für die 110 kV- und 25 kV-Sticklungen war Prüfung gemäss den VDE-Vorschriften mit 280 bzw. 60 kV vorgesehen. Die technischen Daten und Bedingungen gehen aus der Zusammenstellung Bild 2 hervor. Die bahntransportfähige Ausführung verlangte eine besondere Kernkonstruktion. Hierfür lagen vier Vorschläge vor, und zwar

1.) Vierschenkelkern mit zwei bewickelten Schenkeln und zwei Aussenschenkeln, die als magnetischer Rückschluss dienen ;

2.) der radial-geschichtete Kern;

3.) der einschenklig bewickelte waagerechte Kern;

4.) der liegende Stumpf Kern ohne magnetischen Rückschluss.

Alle vier Kerne haben ihre Vor- und Nachteile, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Wenn auch eine eindeutige Entscheidung nicht fiel, wurde doch der unter 3) angegebene, einschenklig bewickelte waagerechte Kern stark bevorzugt.

Alle anderen Teile dieses Transformators waren über die ersten Entwürfe noch nicht hinausgearbeitet. Das Festschreiben der Einstellung dieser Arbeiten mit dem Bericht.

Bei dem bekannten Mangel an ausländischen Fachzeitschriften ist es verständlich, dass von den Arbeiten anderer Länder auf diesem Gebiet bei uns nur wenig bekannt geworden ist.

Versuchsanlagen für 400 bis 500 kV scheinen sich in den USA, Frankreich und Schweden zu befinden. Näheres, insbesondere über die dazugehörigen Transformatoren, ist dem Bericht nicht bekannt.

2.) Technische Bedingungen.

Ende 1947 wurde der TRD von der Technisch-Wissenschaftlichen Abteilung des Ministeriums für Kraftwerke der UdSSR der Auftrag erteilt, die Entwicklung eines 400 kV-Transformators durchzuführen. Da die technischen Bedingungen für diesen Transformator erst am 25. Oktober 1948 gegeben wurden, musste der Entwurf zunächst sowohl mit voller Isolation als auch mit starrer Erdung des Nullpunktes durchgearbeitet werden. Insgesamt wurden 12 Entwürfe in den verschiedensten Ausführungen durchgerechnet, die nachstehend kritisch betrachtet werden.

Als Ergebnis sei vorweggenommen, dass für die Ausführung m.B. nur die stehende zwischengkligige Type ohne Rücksicht auf die Transportfähigkeit in Frage kommt. Drei Einphasentransformatoren werden zu einer Drehstromgruppe für 300 MVA Leistung und einer Übersetzung von 400/121/38,5 kV zusammengeschaltet.

Die Prüfspannungen der 38,5 kV- und 121 kV-Wicklungen erfolgt mit 80 bzw. 240 kV. Für die starr geerdete Oberwindingwicklung wurde eine Prüfspannung von $1,5 E = 600$ kV genügen, da ja eine Erhöhung der Phasen-Spannungen der gesunden Phasen bei Erdschluss nicht möglich ist. Mit Rücksicht auf die bei plötzlichem Lastabwurf auf 700 kV ansteigende Spannung wurde die Prüfspannung des Transformators auf 600 kV festgesetzt.

Die technischen Daten und Bedingungen des Transformators gehen aus der Anlage (Bild 3) hervor.

- 6 -

SECRET

3.) Transportfragen.

Die Transportfrage ist für die Konstruktion von Gross-Transformatoren von ausschlaggebender Bedeutung. Die Vorteile des Versandes komplett betriebsfertiger Transformatoren sind bekannt. Es war daher selbstverständlich, die Leistungsgrenze solcher Transformatoren soweit wie möglich nach oben hinaufzusetzen. Die obere Grenze ist durch das Lademaß der Eisenbahn gegeben und liegt heute bei 125 MVA Leistung und 220 kV Spannung. Diese Konstruktionen entsprechen nicht mehr den natürlichen Wachstumsgesetzen der Transformatoren. Der wirtschaftlichste Transformator verlangt ein ganz bestimmtes Verhältnis von Eisen - zum Kupfergewicht. Die geometrischen Abmessungen des Kernes sind eine Folge dieses Verhältnisses und lassen sich am einfachsten durch den Quotient $\frac{L_j}{L_s}$ ausdrücken, wobei

L_j = Fensterbreite des Joches

L_s = Fensterhöhe des Schenkels ist.

Die 3. Überwellen des Magnetisierungsstromes sind ebenfalls eine Funktion des Verhältnisses $\frac{L_j}{L_s}$. Es ist daher mög-

lich, durch konstruktive Massnahmen den Anteil der 3. Überwellen im Magnetisierungsstrom klein zu halten, und zwar durch ein kleines Verhältnis $\frac{L_j}{L_s}$ oder - anders ausgedrückt - durch die Wahl eines langen Schenkels. Das Verhältnis Fensterbreite zu Fensterhöhe beträgt normalerweise 0,21 - 0,27 und lässt sich bei den Handertransformatoren infolge der profilbedingten, beschränkten Höhe nicht erreichen. Es ergibt sich hier also für die 400 kV-

- 7 -

- 7 -

25X1A

Transformatoren die grundsätzliche Frage: Wandertrafo oder normale Bauart mit demontierten Versuch und Zusammenbau an Ort und Stelle, Der Standpunkt der Elektrizitätswerte zu dieser Frage ist bekannt. Der stichhaltigste Grund, nämlich die Einsparung einer Montagehalle in der Nähe der Schaltanlage fällt bei den 400 kV-Anlagen fort. Die Abmessungen der Leistungsschalter, Trennschalter und Messwandler verlangen sowieso gebieterisch eine Montagehalle. Es kann sich also nur noch darum handeln, die Montage-Gewichte des Transformators denen der Schalterteile anzupassen. Eine überschlägige Rechnung zeigt, dass es ohne weiteres möglich ist, das Gewicht des schwersten Stückes auf ca 15 t zu begrenzen. Auch der für die Montage der Schalter vorgesehene Raum reicht für die Montage der Transformatoren aus.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

"Der Vorteil der Wanderttransformatoren liegt in dem betriebsfertigen Versand, der durch die bis an die Grenze des Zulässigen getriebenen Materialausnutzung und der bis auf das Höchste gesteigerten elektrischen und thermischen Beanspruchung vielleicht noch recht teuer bezahlt ist."

Dagegenüber ist der an Ort und Stelle montierte 400 kV-Transformator nicht nur in Bezug auf Materialaufwand wirtschaftlicher, sondern - richtige Trocknung vorausgesetzt - infolge geringerer elektrischer und thermischer Beanspruchung auch betriebssicherer

- 8 -

B. Transformatoren mit starr geerdetem Nullpunkt.1. Zwei bewickelte, stehende Schenkel mit einfach konzentrischer Lagewicklung. (Berechnungs-Entwurf IX).a) Eisenkern.

Zunächst ist die Baugrösse des Transformators zu bestimmen. Die Baugrösse ist eine Zahl, die sich auf die Grösse des Eisenkernes bezieht und die Leistung (in kVA) angibt, für welche der Kern bei Auslegung mit 2 Wicklungen dimensioniert ist. Die Baugrösse wird somit:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{2} = \frac{100 + 100 + 39}{2} = 116500 \text{ kVA}$$

Die Ströme werden mit J_1 , J_2 , J_3 bezeichnet und ergeben sich unter Berücksichtigung der Schaltung zu:

$$J_1 = \frac{100000}{231} = 433 \text{ Amp. für die Oberspannung}$$

$$J_2 = \frac{100000}{70} = 1430 \text{ Amp. für die Mittelspannung}$$

$$J_3 = \frac{33000}{38,5} = 856 \text{ Amp. für die Unterspannung.}$$

Bei voller Leistung und 360 kV Spannung erhöhen sich die Ströme auf

$$J_1 = 433 \cdot \frac{400}{360} = 481 \text{ Amp.}$$

$$J_2 = 1430 \cdot \frac{400}{360} = 1590 \text{ Amp.}$$

$$J_3 = 856 \cdot \frac{400}{360} = 952 \text{ Amp.}$$

Diese Werte werden in der folgenden Rechnung stets als Klammerwerte erscheinen.

Der Schenkelquerschnitt lässt sich nicht exakt voraus berechnen. Für den ersten Ansatz genügt eine von "Arnold" angegebene Formel

$$S = \sqrt{\frac{P_{\text{Fe}}}{P_{\text{Cu}}} \cdot 10^6}$$

~ . S . ~

- 10 -

Darin bedeuten

Q = Schenkelquerschnitt in cm^2

C = Konstante 1,33

kVA = Leistung des Transformators

G_{Fe} = Eisengewicht

G_{Cu} = Kupfergewicht

ω = Frequenz

B = Induktion

σ = Stromdichte

Das Verhältnis $G_{Fe} : G_{Cu} = 5$ gesetzt, wird

$$Q = 1,33 \cdot \sqrt{\frac{1725000 \cdot 5 \cdot 10^9}{50 \cdot 13500 \cdot 3,7}} = \sim 6500 \text{ cm}^2$$

Dieser Querschnitt ist an Hand einer Ueberschlagsrechnung zu korrigieren. Gewählt werden 6900 cm^2

Bei einem Füllfaktor von 0,835 ergibt sich der Schenkel-durchmesser wie folgt:

$$\frac{6900}{0,835} = \frac{\pi r^3}{4} \quad \text{und daraus}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{6900 \cdot 4}{0,835 \cdot 3,14}} = \sim 1050 \text{ mm}.$$

Mit Rücksicht auf den Bahntransport ist eine Bauhöhe des Transformators von nur 4225 mm maximal zulässig. Bei einem Kerndurchmesser von 1050 mm betragen die Jochblechbreiten je 1050 mm. Für den Jochabstand werden 2 . 150 mm und für die Spulenpresskonstruktion weitere 100 mm vorgesehen. Die für die Wicklung verbleibende Schenkellänge ist dann

$$4225 - 2 \cdot 1050 - 2 \cdot 150 - 1 \cdot 100 = 1725 \text{ mm},$$

$$\text{d.h. } \frac{1725}{4225} \cdot 100 = 41 \% \text{ der gesamten Bauhöhe des Transformators}$$

werden nur für die Wicklung ausgenutzt. Des weiteren soll sich die Prüfspannung von 800 kV über diesen Weg von 1725 mm Länge abbauen. Da Erfahrungen mit so hoher Spannung noch nicht vorliegen, ist hier ein Isolationsversuch dringend notwendig. Bei der Auslegung der Wicklung wird diese Frage noch einmal diskutiert. Es wird dann gezeigt, wie durch geschickte Anordnung der Wicklung diese Schwierigkeiten sehr stark gemildert werden können. Aus der Auslegung der Wicklung ergibt sich ein Mittene Abstand für den Kern von 1910 mm.

Die Kernabmessungen liegen somit wie folgt fest:

Schenkeldurchmesser = 1050 mm
Schenkellänge = 2125 mm
Mittene Abstand = 1910 mm
Schenkelquerschnitt = 6900 cm².

Es war naheliegend, bei der geringen bewickelten Schenkellänge nach konstruktiven Lösungen zu suchen, welche es gestatten, die nutzbare bewickelte Schenkellänge zu vergrößern, ohne die Bauhöhe des Transformators zu erhöhen. Ein bekanntes Mittel zur Verringerung der Bauhöhe ist die Anwendung von Rückschlusschenkeln, die bei einem Dreischankelkern eine Verringerung der Jochhöhe auf etwa 58% und bei einem Zweischankelkern auf etwa 50% gestatten. Da aber die Rückschlusschenkel die Länge des Transformators erheblich vergrößern, sind die hierdurch erzielten Vorteile zum Teil wieder hinfällig. Hingzu kommt noch, dass bei einem derartigen Wanderttransformator die Oberspannungsführungen in der Regel an den in Fahrtrichtung liegenden Kesselstirnseiten anbracht sind. Eine elektrisch einwandfreie Verbindung der Oberspannungswicklung mit den Oberspannungsführungen verlangt

daher ebenfalls zusätzliche Massnahmen, weil nämlich zwischen diesen beiden zu verbindenden Teilen die Rückschlusschenkel liegen.

Diese Schwierigkeit vermeidet der Radialkern mit seitlich angefügten Jochen. Er kommt ohne Rückschlusschenkel und mit beträchtlich kleinerer Jochhöhe als der Vierschenkelkern aus. Man gewinnt mit dem Radialkern noch erheblich Nickelraum. Das Gewicht des aktiven Eisens und die Eisenverluste sind bedeutend kleiner als bei der Vierschenkeltype. Der Ölkasten wird kürzer, das Öelgewicht geringer. Montage und Demontage lassen sich viel bequemer und rascher ausführen als beim geschichteten Grosskern. Den Aufbau eines Radialkernes zeigt Abb. 5. Alle Schenkelbleche sind radial gerichtet. Sie sind in der Breite gleichmässig abgestuft. Eine Gruppe von verschiedenen Blechen bildet jeweils einen Sektor. Der ganze Schenkel ist aus einer entsprechend grossen Zahl solcher Sektoren zusammengesetzt. Um die Schenkelachse herum bleibt ein zylindrischer Raum leer; er wird von Öl durchspült. Zur Vergrösserung der Kühloberfläche stehen einzelne Bleche oder Blechgruppen in diesen Raum hinein vor. Die äussere Mantelfläche der Säule ist genau zylindrisch. Da die Säule die Joch durchdringt, muss der wärmetische Fluss durch den äusseren Zylindermantel zu den Jochen laufen.

Die Joch sind quer zur Schenkelachse geschichtet. Sie werden zweckmässig in der Verbindungsebene der beiden Schenkelachsen geteilt und die beiden Hälften seitlich unter Zwischenlage einer Isolierschicht an die Schenkel angedrückt.

Wenn für den Übergang des Flusses vom Schenkel zum Joch mit der gleichen Flussdichte wie im Schenkel gerechnet wird, so muss

SECRET

25X1A

- 13 -

sein:

$$D \cdot \pi \cdot H \cdot 0,9 = D^2 \frac{\pi}{8} \cdot 0,75$$

hierin bedeuten:

D = Schenkeldurchmesser

H = Jochhöhe (Schichthöhe)

0,9 = Jochfüllfaktor

0,75 = Schenkelfüllfaktor

Daraus ergibt sich $H = 0,21 D$. Das Joch dürfte dabei zu breit werden; vorteilhafter wählt man die Jochhöhe zu $0,3 = 0,35 D$. Kerne dieser Art sind bei uns noch nicht praktisch erprobt. Schwierigkeiten sind infolge von Wirbelströmen vielleicht an der Stossfuge zwischen Joch und Schenkel zu erwarten. Auch die Frage der mechanischen Festigkeit ist noch ungeklärt. Ein solcher Kern kommt daher für die Ausführung nicht in Frage.

Die vom Bericht vorgesehene Lösung zur Verringerung der Bauhöhe ist völlig neu. Es handelt sich hierbei um eine Neukonstruktion, über die noch keinerlei praktische Erfahrungen vorliegen. Die theoretischen Überlegungen zeigen aber, dass keinerlei unangenehme Überraschungen bei der Ausführung zu erwarten sind.

Der Grundgedanke ist folgender:

Das untere Joch wird verbreitert, das heisst, die Jochhöhe (Blechbreite) wird für das untere Joch auf die Hälfte reduziert. Der fehlende Querschnitt wird durch vergrösserte Schichthöhe ausgeglichen. Die magnetische Verbindung zwischen dem Schenkel und den aufgeschichteten Jochen wird durch Blechbänder hergestellt.

- 14 -

SECRET

Bild 6 zeigt in perspektivischer Darstellung eine Teilansicht des Transformatorenkernes, bei dem die Jochhöhe durch Aufteilung der Joche um die Hälfte herabgesetzt ist. Die Jochteile 1 und 2 liegen zu beiden Seiten des Restjoches 3, das in verlappter Schichtung der Bleche auf den Kernschenkel 4 aufgesetzt ist.

Die Verbindung der Jochteile 1 und 2 mit den beiden Hälften des Restjoches 3 geschieht über Bänder 5, die ebenfalls im verlappten Stoss in die äusseren Enden der einzelnen Jochteile eingeschichtet sind. Die Breite der Bänder ergibt sich hierbei aus der Abstufung des Joches nach Bild 6 (links unten), in dem die einzelnen Blechbreiten genau den in der gleichen Ebene liegenden Blechen des kreisförmigen Kernschenkels entsprechen.

Um den grösseren Querschnitt des Joches in dem Restjoch zu erhalten, wird, wie Bild 6 (links unten) zeigt, die dem Fenster zugekehrte Jochfläche 11 eben ausgeführt. Hierdurch bekommt das ganze Joch einen halbelliptischen Querschnitt. Durch die Trennlinie 12, die das Joch in halber Höhe schneidet, wird das Joch in einen unteren Teil 13 von 60 % und einen oberen Teil 14 von 40 % des Gesamtquerschnittes unterteilt. Die Jochteile 1 und 2 des Bildes 6 würden bei einem ungeteilten Joch die in Bild 6 (links unten) eingezeichnete Lage der Teile 6 und 7 haben. Die Abstufung der Jochteile 1 und 2 in Bild 6 erklärt sich daraus, dass diese Teile den Teilen 6 und 7 in Bild 6 (links unten) entsprechen. Bild 6 (rechts unten) zeigt eine Draufsicht auf die Stirnseite des Joches. Die Breite der Bänder 3 ist hierbei so gross, wie die Stufen der Jochteile gemacht sind, so dass die gleiche Querschnittsform

- 15 -

für die Teile 1 und 2 entsprechend den Teilen 6 und 7 erhalten bleibt.

Die praktische Ausführung des unteren Joches für den 100 MVA-Transformator zeigt Bild 7. Durch Aufstellung der drei Abstufungen "A", "B" und "C" in der Art, dass die kleineren Blechbreiten "A" und "B" zusammen genommen gerade die Blechbreite des grossen Bandes "A" ergeben, lassen sich in den ausserliegenden Jochteilen "F" die Bänder so unterbringen, dass diesem Teil ein rechteckiger Querschnitt gegeben werden kann. Da auch das übrige Joch somit rechteckig ist, erhält man also für die gesamte Jochanordnung einen rechteckigen Querschnitt. Ausserdem wird die Gesamtbreite auf jeder Seite um das Stück "C" vermindert, da ja die Bänder "B" und "C" in den Jochteilen "F" übereinander endigen.

Die volle Ausnützung der Vorteile dieser Neukonstruktion durch Anwendung derselben auf das obere und untere Joch ist in dem vorliegenden Fall leider nicht möglich, da das Bahnprofil im oberen Teil wesentlich schmaler wird. Das obere Joch wird daher normal ausgeführt, was den Vorteil einer leichteren Montage mit sich bringt. Da die Beschaffung der Bleche in der verlangten Breite von 1050 mm Schwierigkeiten bereitet (Normalgrösse 750 x 1500), werden dieselben der Länge nach unterteilt (Bild 8). Um das Schichten weiter zu erleichtern und für den Flussübergang eine gute Auflage zu schaffen, wird im oberen Blech eine Aussparung von ca 12 mm Breite vorgesehen, die gleichzeitig als Kühlkanal gilt.

Durch die Einführung des verbreiterten Joches ist es möglich, den Kern mit einer Teilleitlänge von 2700 mm auszuführen.

- 18 -

Die Kernabmessungen liegen nunmehr endgültig fest.

Schenkeldurchmesser $\varphi = 1050 \text{ mm}$

Schenkellänge $L = 2700 \text{ "}$

Mittenabstand $MA = 1900 \text{ "}$

Schenkelquerschnitt $Q = 6900 \text{ cm}^2$

Das Eisengewicht des Schenkels ist ($\gamma = \text{spez. Gewicht}$)

$$G = Q \cdot L \cdot 2 \cdot \gamma$$

$$G = 69 \cdot 27 \cdot 2 \cdot 7,7 = 29\,000 \text{ kg}$$

Das Jochgewicht ergibt sich zu

$$G = Q \cdot 2 (MA + \varphi) \cdot \gamma$$

$$= 69 \cdot 2 \cdot 29 \cdot 7,7 = 31\,000 \text{ kg.}$$

Dazu kommen noch für die Jochumleitung 1000 kg, so dass sich ein Kerngewicht von 61000 kg ergibt.

Die Sättigung im Eisen wird mit Rücksicht auf die mögliche Spannungserhöhung auf 450 kV mit $B = 12500 \text{ Gauss}$ festgelegt. Daraus folgen die Eisenverluste zu

$$V_{Fe} = K \cdot G, \text{ worin der Faktor "K" die Verluste}$$

je kg Eisen bei 13500 Gauss bedeutet.

$$V_{Fe} = 2,95 \times 61000 = 180 \text{ kW.}$$

Ebenso ergibt sich die Magnetisierungsarbeit zu $V_M = K \cdot G$, wobei für den Faktor $K = 21$ einzusetzen ist.

$$V_M = 21 \cdot 61000 = 1280 \text{ kVA.}$$

Wenn die Wirk- und Blindleistung in Prozenten der Primärleistung eingesetzt wird, ergibt sich der Leerlaufstrom

$$J_0 = \sqrt{J_M^2 + J_B^2}$$

$$J_0 = \sqrt{0,10^2 + 1,29^2} = 1,29 \%$$

SECRET

Die weitere Auslegung des Kernes ist nur noch rein konstruktiver Natur und wurde noch nicht in Angriff genommen. Um die magnetischen Verhältnisse bei einem derartigen Kern studieren zu können, wird ein Versuchsmodell ausgeführt. Da die Werkstattarbeiten noch nicht beendet sind, kann darüber noch nichts berichtet werden.

b) Wicklung.

Bei der Wicklung ist zwischen den Spulen und dem Aufbau zu unterscheiden. Die Spulen werden ganz oder teilweise auf der Wickelbank hergestellt, während der Aufbau die Anordnung der Spulen auf dem Kern darstellt. Ein Zeichen der wirtschaftlichen Ausnützung des zur Verfügung stehenden Wickelraumes ist der sogenannte Kupferfüllfaktor. Dieser wird ausgedrückt durch das Verhältnis des Gesamt-Kupferquerschnittes zu den Fensterabmessungen. Also

$$f_{Ku} = \frac{\sum Q_1 + Q_2 + Q_3}{(MA - D) \cdot L}$$

wobei Q_1 , Q_2 , Q_3 die Summe der Kupferquerschnitte der tertiären, sekundären und primären Wicklung bedeuten. Der beste Kupferfüllfaktor wird erzielt, wenn der zu jeder Wicklung gehörige Isolationsabstand nur einmal vorhanden ist. Daraus ergibt sich die Spulenordnung wie folgt:

Am Schenkel liegt die Tertiärwicklung, in der Mitte die 121 kV-Wicklung und aussen die 400 kV-Wicklung. Für die Spulen selbst stand die verstäuerte oder die Lagenwicklung zur Wahl. Bei der verstäurten Wicklung liegt die volle Phasenspannung an der Hauptisolation, während bei der Lagenwicklung der Vorteil des starr geerdeten Nullpunktes ausgenutzt wird, der es gestattet, die an der Hauptisolation liegende unterste Lage der

Spule an Erde zu legen. Die Hauptisolation wird dadurch beträchtlich entlastet, da nunmehr für dieselbe die Prüfspannung der 121 kV-Wicklung in Frage kommt. Es ist also möglich, den Isolationsabstand zwischen Überspannung und Mittelspannung beträchtlich kleiner zu wählen als bei der verstärzten Wicklung. Auch die Randfelder nach dem Joch hin sind bei der Lagenwicklung leichter zu beherrschen als bei der verstärzten Wicklung. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn durch plötzlichen Lastabwurf die Spannung auf 700 kV ansteigt.

Auf Grund dieser Überlegungen wurde für die Ausführung die Lagenwicklung für alle 3 Wicklungen gewählt. Die Anordnung der Spulen zeigt Bild 9.

Am Schenkel liegt die Tertiärwicklung, deren beider Schenkel parallel geschaltet sind. Der Isolations-Abstand beträgt 20 mm. Mit 30 mm Isolations-Abstand folgt die 121 kV-Wicklung und dann mit 50 mm die 400 kV-Wicklung. Die Abstände von 20 und 30 mm wurden auf Grund der bei uns laufend ausgeführten Transformatoren gewählt und sind durch die Praxis genügend bestätigt. Der Abstand der 400 kV-Spule von der 121 kV-Wicklung ist mit Rücksicht auf die Kurzschlussspannung zu 50 mm gewählt.

Die Zeichnung Anlage 1 zeigt den Entwurf des Spulenaufbaues.

Die Tertiärwicklung ist als 2-lagige Röhrenspule ausgeführt. Der folgende Isolationsabstand von 20 mm wird aus einem durch einen Vertikal unterbrochenen Weichpapierzylinder ausgefüllt. Es folgt dann die aus 8 Lagen bestehende 121 kV-Wicklung. Die beiden Schenkel sind parallel geschaltet.

Die Wicklungslagen sind auf Leisten gewickelt, auf denen die Lagenisolation aus Weichpapier aufgebracht ist.

Auf das schwierige radiale Umreißen der Lagenisolation wurde bei der 121 kV-Wicklung verzichtet, da der hohe Jochabstand der Wicklung ein ausreichend weites Ueberstehen der Lagenisolation gestattet.

Die Hauptisolation wird durch einen Helkanal und einen durch zwei weitere Helkanäle aufgelockerten Weichpapierzylinder gebildet.

Die 20 Lagen beider Schenkel sind Lage für Lage in Reihe geschaltet. Hierbei liegen die hierzu erforderlichen Umleitungen im schirmfreien Fenster und erzwingen eine gleichmäßige Potentialsteuerung.

Die Isolation der einzelnen Lagen besteht aus Geax-Leisten mit aufgewickelter Weichpapier. Ein besonders schwieriges und noch nicht gelöstes Problem bildet die Isolation von der Wicklung zum Kasten. Vorgesehen ist hier eine aus mehreren Schichten bestehende Kabelpapierisolation. Die Stärke dieser Isolation kann nur durch Versuche ermittelt werden.

Für die Pressung der Wicklung in axialer Richtung wird eine Presskonstruktion von 100 mm Stärke vorgesehen. Der Jochabstand wird zu 150 mm angenommen, wodurch sich die Wickellänge zu 2300 mm ergibt.

Mit einer Induktion von 13500 Gauss ergibt sich die Windungsspannung zu

$$U = 4,44 \cdot \sim \cdot B \cdot Q \cdot 10^{-8} \\ = 4,44 \cdot 50 \cdot 13500 \cdot 6900 \cdot 10^{-8} = 206 \text{ Volt.}$$

- 20 -

Die Windungszahlen werden somit

$$n_1 = \frac{38500}{206} = 187$$

$$n_2 = \frac{121000}{\sqrt{3} \cdot 206} = 340$$

$$n_3 = \frac{400000}{\sqrt{3} \cdot 206} = 1122$$

auf einen Hartpapierzylinder von 1170/1090 ϕ wird die erste Lage der Tertiärwicklung mit 95 Windungen aufgebracht. Darüber folgt durch 6 mm-Isolierstoffleisten und 0,5 Pressspan sowie 3,5 mm Papier getrennt die zweite Lage mit 92 Windungen. Verwendet werden 2 parallel flach gewickelte Drähte mit den blanken Abmessungen 6 x 11, isoliert auf 7 x 12 mm. Die axialen Längen der Spulen werden

$$2 \cdot 96 \times 12 = 2300 \text{ mm und}$$

$$2 \cdot 93 \times 12 = 2240 \text{ mm}$$

Der mittlere Durchmesser der Tertiärwicklung ist $1090 + 25 = 1115 \text{ mm}$

Der Drahtquerschnitt wird $2 \cdot (2 \cdot 65) = 260 \text{ mm}^2$

Die Stromdichte σ ist dann $\frac{856}{260} = 3,3 \text{ Amp/mm}^2$ (bzw. $\frac{856}{260} = 3,66 \text{ Amp/mm}^2$).

Das Kupfergewicht errechnet sich mit dem spezifischen Gewicht

$$\gamma = 8,9 \text{ zu}$$

$$G_{\text{Kt}} = 11,15 \cdot 3,14 \cdot 0,0260 \cdot 187 \cdot 8,9 = 1520 \text{ kg}$$

Die Kupferverluste werden

$$k_{\text{el}} = 2,4 \cdot 3,3^2 \cdot 1520 = 40 \text{ kW}$$

$$(2,4 \cdot 3,66^2 \cdot 1520 = 49 \text{ kW})$$

- 21 -

- 21 -

werden für die Zusatzverluste 5 % angenommen, so ergeben sich die Gesamtverluste der Tertiärwicklung zu 42 kW (53 kW). Die kühlende Oberfläche - unter Berücksichtigung einer Abdeckung von 33 % - ist (nur die äussere Mantelfläche der Spulen eingesetzt)

$$Q = 11,15 \cdot 3,14 \cdot 2,27 \cdot 2,2 \cdot 0,66 = 21 \text{ m}^2$$

Die spezifische Wärmebelastung wird dann

$$q = \frac{42}{21} = 2000 \text{ Watt/m}^2$$

$$(q = \frac{53}{21} = \sim 2500 \text{ Watt/m}^2), \text{ bei } 360 \text{ kV.}$$

Die Isolation zur 121 kV-Wicklung wird teilweise fest auf die Tertiärwicklung gewickelt und unterteilt sich von innen nach aussen wie folgt:

Nach 6 mm Leisten folgt ein Weichpapierzylinder von 6 mm, darauf ein für die Trocknung der Isolation nötiger, durch Isolierstoffleisten gebildeter Kanal von 4 mm. Dieser Kanal bildet gleichzeitig die Trennstelle der beiden Wicklungen.

Der nun folgende Geaxzylinder von 8 mm Stärke dient als Tragzylinder für die 121 kV-Wicklung und erhält zunächst eine Weichpapierisolation von 6 mm aufgewickelt. Es folgt dann, direkt aufgewickelt, die innerste Lage der Mittelspannungswicklung. Die Lagen sind aus Gründen der dynamischen Festigkeit spiegelbildlich zur Oberspannungswicklung axial abgesetzt. Jede Lage besteht aus drei flach nebeneinanderliegenden Drähten 4 x 16 mm blank, isoliert auf 5 x 17. Die Windungszahlen je Lage steigen von 41 Windungen bei der innersten Lage, auf 44 Windungen bei der äussersten Lage, wobei sich die axiale Länge von $3 \cdot 17 \cdot 42 = 2150 \text{ mm}$ auf

- 22 -

3 . 17 . 45 = 2300 mm erhöht. Die einzelnen Lagen sind durch einen aus Leisten gebildeten Kanal von 6 mm und einer Isolation von 4 mm getrennt. Die gesamte 121 kV-Wicklung hat eine radiale Ausdehnung von 114 mm. Der mittlere Durchmesser der Wicklung ist 1914 mm. Der Drahtquerschnitt ist $[(4 \times 16) \cdot 3] = 380 \text{ mm}^2$, die Stromdichte $= \frac{1430}{380} = 3,76 \text{ Amp/mm}^2$

$$[G = \frac{1590}{380} = 4,19 \text{ Amp/mm}^2]$$

Daraus ergibt sich ein Kupfergewicht dieser Wicklung von

$$G_s = 13,14 \cdot 3,14 \cdot 0,0380 \cdot 340 \cdot 8,9 = 4750 \text{ kg}$$

Die Kupferverluste werden

$$kW_1 = 2,4 \cdot 4750 \cdot 3,76^2 = 163 \text{ kW}$$

$$[2,4 \cdot 4750 \cdot 4,19^2 = 200 \text{ kW}]$$

Die Zusatzverluste werden zu 13 % angenommen. Damit werden die tatsächlichen Kupferverluste 185 kW [225 kW].

Die kühlende Oberfläche wird unter Berücksichtigung einer Abdeckung von 33 %

$D = 1,314 \cdot 3,14 \cdot 2,25 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 0,66 = 100 \text{ m}^2$

Die spezifische Flächenbelastung der 121 kV-Wicklung wird somit

$$w = \frac{185}{100} = 1,85 \text{ Watt/m}^2$$

$$\left[\frac{225}{100} = \sim 2300 \text{ Watt/m}^2 \right] \text{ bei } 250 \text{ kV}$$

Der Isolationskanal zwischen der 121 kV- und 400 kV-Wicklung dient gleichzeitig als Trennfuge für das mechanische Trennen der Wicklungen für den Aufbau.

Die Isolation besteht zunächst aus dem durch Isolierstoffleisten gebildeten 6 mm breiten Kanal. Darauf folgt auf 2 mm

- 23 -

Geaxzylinder eine Weichpapierauflage von 7 mm. Der nun folgende, durch Leisten aus Isolierstoff gebildete Kanal dient hauptsächlich zur Trocknung des Papiers und gleichzeitig zur leichteren Fabrikation beim Umreissen der die Jochisolation bildenden Teile. Ebenso ist es mit dem nun folgenden 2 mm-Geaxzylinder mit 7 mm Weichpapierauflage. Es folgt nun ein 8 mm starker Geaxzylinder, der einen Papierauftrag von 10 mm erhält und die Wicklung trägt (Bild 10).

Die hier bei dem Entwurf vorgesehene Isolation kann nicht die endgültige sein. Die Kurzschlussspannung bedingt den Abstand von 50 mm und nicht die Isolation. Andererseits sind die weggerissenen Zylinderkragen für die durch die Eingangsspannung (äusserste Lage) bedingte hohe Feldstärke zum Joch hin unbedingt erforderlich. Die Radialisolation ist also zu verringern, ohne die axiale Isolation zu schwächen. Infolge Abschluss der Arbeiten war es nicht möglich, die Lösung dieser Frage in Angriff zu nehmen. Während sich für die radiale Isolation die elektrische Beanspruchung durch die Berechnung der Feldstärke für zwei koaxiale Zylinder zahlenmässig nach bekannten Methoden ermitteln lässt, ist dies für die Jochbeanspruchung nicht durchführbar, weil die zur Verfügung stehenden mathematischen Hilfsmittel nur durch weitgehende Vereinfachung eine Lösung bringen, die praktisch kaum zu gebrauchen ist. Am zweckmässigsten werden diese Verhältnisse im Elektrolytischen Trog studiert, der zwar keine absoluten Werte liefert, jedoch ein anschauliches Bild gibt, ob die Isolation wirkungsvoll angeordnet ist oder nicht. Das letzte Wort hat dann hier der Grossversuch.

- 24 -

Die einzelnen Lagen der Überspannungswicklung werden ebenfalls abgestuft. Jede Lage besteht aus 2 parallelen, flach gewickelten, nebeneinanderliegenden Drähten von $3,5 \times 17 \text{ mm}$, isoliert auf $5,5 \times 19$. Die Windungszahl der 10 Lagen je Schenkel stuft sich von 59 auf 52 Windungen ab. Die axiale Länge der Spulen wird damit 2300 bis 2000 mm. Auf jeder Lage liegen Isolierstoffleisten von 6 mm Stärke, deren Zwischenräume den Kühlkanal bilden. Auf diese Leisten folgt als Lagenisolation 4 mm Papier. Die radiale Ausdehnung der OS-Spule ist $10 \times 5,5 + 9 \times 10 = \sim 150 \text{ mm}$.

Der mittlere Durchmesser der Spule wird 1678 mm. Der Drahtquerschnitt ist $2 (3,5 \times 17) = 118 \text{ mm}^2$. Die Stromdichte ist

$$\sigma = \frac{433}{118} = 3,66$$

$$[\sigma = \frac{481}{118} = 4,07]$$

Das Kupfergewicht ist

$$G = 16,78 \cdot 3,14 \cdot 0,0118 \cdot 561 \cdot 2 \cdot 8,9 = 6230 \text{ kg.}$$

Die Kupferverluste werden somit

$$kW_1 = 2,4 \cdot 3,66^2 \cdot 6230 = 203 \text{ kW}$$

$$[2,4 \cdot 4,07^2 \cdot 6230 = 250 \text{ kW}]$$

Die Zusatzverluste werden zu 12% angenommen. Somit ergeben sich die Verluste zu 230 kW (280). Die im Entwurfsblatt IX unter ZV (Zusatzverluste) angegebenen abgeklammerten Zahlen 8%, 35% und 30% geben die maximalen Zusatzverluste der am stärksten betroffenen Lage wieder. Diese Lage ist für die genaue Bestimmung der max. Kupfertemperatur massgebend.

Unter Berücksichtigung einer Abdeckung von 33% ergibt sich

- 25 -

eine von Öl bespülte Kühlfläche der Wicklung zu

$$Q = 1,678 \cdot 3,14 \cdot 2,15 \cdot 10,2 \cdot 0,66 = 152 \text{ W}$$

Die spezifische Flächenbelastung wird somit

$$q = \frac{230}{152} = 1500 \text{ Watt/m}^2$$

$$\left[\frac{280}{152} = 1850 \text{ Watt/m}^2 \right] \text{ bei } 360 \text{ kV}$$

Die Isolation der Drähte ist für die innere Spannungsfestigkeit der Spule von ausschlaggebender Bedeutung. Die Papierisolation von 2 mm wurde auf Grund von Erfahrungen beim Bau von 220 kV-Transformatoren extrapoliert. Es ist unbedingt notwendig, hier einen Versuch durchzuführen, ehe mit der endgültigen Auslegung des Transformators begonnen wird.

Die Streuspannung zwischen der OS- und MS-Spule berechnet sich wie folgt:

Die Streuinduktion B_S ist

$$B_S = 1,8 \cdot \frac{4\pi}{c} \cdot \eta \quad (\text{wobei } \eta = \text{Korrektionsfaktor})$$

$$= \frac{1,8 \cdot 561 \cdot 433}{225} \cdot 0,96 = 1860$$

Der Streufluss ist reduzierter Streukanalquerschnitt mal Streuinduktion, also

$$\Phi_S = d \cdot \pi \cdot S \cdot B_S, \text{ worin}$$

d = mittlerer Streukanaldurchmesser in cm

S = reduzierter Streukanal in cm

$$= \Delta - \frac{1}{3} (a + b) + K_1 + K_2$$

Δ = Streukanal in cm

a = Radiale Kupferbreite der OS-Spule in cm

b = " " " der MS-Spule in cm

K_1 und K_2 Korrektionsfaktoren in cm ,
welche die Abstände der einzelnen Lagen der
Ober- und Mittelspannungsspulen berücksich-
tigen.

An Hand des Entwurfes IX wird

$$S = 5,2 + \frac{1}{3} (3,5 + 3,2) + 3,7 + 2,6 = 13,75 \text{ cm und}$$

$$\Phi_s = 147,8 \cdot 3,14 \cdot 13,75 \cdot 1860 = 11\,900\,000$$

Daraus ergibt sich die Streuspannung zu

$$\begin{aligned} e_s &= \frac{\Phi_s}{B \cdot Q} \cdot 100 \\ &= \frac{11\,900\,000}{13\,500 \cdot 6900} \cdot 100 = 13,2 \% \end{aligned}$$

Die gesamten Kupferverluste betragen

$$185 + 230 = 415 \text{ kW zuzüglich } 12 \%$$

$$\text{Zusatzverluste} = 415 \cdot 1,12 = 470 \text{ kW}$$

Der ohmsche Spannungsabfall wird somit

$$e_r = \frac{470}{100000} \cdot 100 = 0,47 \% \text{ und die}$$

Kurzschlussspannung

$$e_k = \sqrt{0,47^2 + 13,2^2} = 13,2 \%$$

In gleicher Weise errechnet sich die Kurzschluss-
spannung zwischen der Ober- und Unterspannung zu 7,5 %
und zwischen der Mittel- und Unterspannung zu 2,5 %.

Die Abmessungen des Transformators sind aus Bild II
ersichtlich. Eine Reihe von Einzelheiten zeigen die
Zeichnungs-Entwürfe Anlage 2 und Anlage 3.

Ein Problem, das für alle Entwürfe noch nicht gelöst

- 27 -

ist, ist die Lage der Durchführungen bezw. die Verbindung der 400 kV-Durchführung mit der Wicklung.

Die kleine Kurzschlussspannung von 2,5 % zwischen Mittel- und Unterspannungsspulen gefährdet den ganzen Transformator. Es erscheint daher zweckmässig, dieselbe zu erhöhen.

Wir haben daher eine Reaktanzspule von 5 % vor die Unterspannungswicklung geschaltet und damit die Kurzschlussspannung der Mittelspannungswicklung auf 12,5 % und die der Unterspannungswicklung auf 7,5 % erhöht. Die Spule ist im Berechnungs-Entwurf IIIa ausgelegt. Dieselbe hat eine Leistung von 1680 kVA bei einer Drosselspannung von 1960 Volt je Phase bei 856 Amp (952 Amp. bei 380 kV). Um günstige geometrische Abmessungen und damit kleinsten Materialaufwand zu bekommen, ist die Spule in 4 Teilspulen aufgelöst, von denen je 2 in Serie zu jedem Schenkel des Haupttransformators geschaltet sind. Die Spulen sind wegen der im Kurzschluss auftretenden grossen dynamischen Beanspruchungen sehr fest abzustützen. Um unerwünschte Rückwirkungen der starken magnetischen Felder zu vermeiden, erhalten die Spulen geschichtete Joche aus Transformatorenblech. Die Abmessungen gehen aus dem Berechnungs-Entwurf IIIa hervor. Der Einbau erfolgt mit dem Haupttransformator in gemeinsamen Oel-Kasten.

2. Zwei bewickelte stehende Schenkel

Einfach-konzentrische Lagenwicklung (Dementierter Versatz).

Die Vorteile des komplett betriebsfertigen Wandertransformators sind bekannt. Zu untersuchen ist nun auch, ob diese Vorteile mit wachsender Leistung und Spannung überhaupt noch voll zur Auswirkung kommen. Bei dem 100 MVA / 400 kV-Transformator muss die Kühlanlage auf alle Fälle getrennt aufgestellt werden. Es ist also getrennte Aufstellung von Kühler, Rohrleitung, Pumpen und Lüfter erforderlich. Daraus folgt, dass auf die so "unangenehme Oelpanscherei" nicht verzichtet werden kann. Ob während des Transportes alle Durchführungen auf oder am Transformator bleiben, ist z.Zt. noch nicht entschieden, scheint aber zweifelhaft. Für den Aufbau eines normalen Ausdehnungsgefäßes fehlt der Platz. Dazu kommt, dass die gedrängte Bauweise des Wandertransformators zu elektrischen und thermischen Beanspruchungen führt, die ~~z.B.~~ bei den geringsten Materialfehlern oder Versagen verheerende Folgen haben. Die Unabhängigkeit des Einsatzes von vorhandenen Montagewerkstätten war ebenfalls ein stark betontes Moment der Anhänger der Wandertransformatoren.

Demgegenüber sei nochmals auf die Vorteile des normalen Transformators grösser Leistung hingewiesen. Als Voraussetzung gilt, dass die 400 kV-Schaltanlage nicht mehr ohne Montagewerkstatt auskommt. Die einzelnen Bau-Elemente, wie Leistungs- oder Trennschalter, Strom- und Spannungswandler sind am Aufstellungsort zu montieren oder aus der liegenden Transportstellung aufzurichten, was ohne Montage-Werkstatt und Krananlagen ausgeschlossen ist.

SECRET

Der Transformator erhält entsprechend den natürlichen Wachstumsbesetzen einen längeren Schenkel, kommt also mit kleinerem Kerndurchmesser aus. Die Joche und Schenkel werden nicht überlappt geschichtet, sondern erhalten stumpfen Stoss. Die Fabrikation wird angenehmer, geringerer Platzaufwand für das Schichten, kleineres Transport- und Montagegewicht. Auch bei eventuellen Reparaturen ist der stumpfe Stoss der Schenkel und Joche von grossem Vorteil, da das sehr löstige Aus- und Einschichten der geteilten Jochbleche fortfällt. Der Transformator wird wirtschaftlicher, da geringerer Materialaufwand.

Die Auslegung eines solchen Transformators zeigt der Berechnungs-Entwurf VIIc. Der Eisenkörper ist ein normaler Einphasenkern mit 2 stehenden Schenkeln. Joche und Schenkel werden nicht zusammengeschichtet, sondern stumpf gestossen. Der dadurch vergrösserte Leerlaufstrom wird in Kauf genommen; er beträgt ca. 2% des Nennstromes, ist also sehr niedrig.

Alle 3 Spannungen erhalten Lagenwicklung, da nur hierbei der Vorteil des starr geerdeten Nullpunktes in Bezug auf Isolationsabstufung voll ausgenutzt werden kann. Der Aufbau der Wicklung unterscheidet sich gegenüber dem unter B 1 behandelten Entwurf nur durch die für die 110 und 400 kV-Wicklung verringerte Lagenzahl. Auf die ins einzelne gehende Berechnung kann hier verzichtet werden, da alle erforderlichen Daten in dem Berechnungs-Entwurf VIIc niedergelegt sind.

Die Ableitungen sind ebenfalls genau so wie bei dem vorhergehenden Entwurf. Die äusserst kritische Verbindung von 110 kV zur 400 kV-Durchführung - bei dem vorhergehenden Entwurf ein Problem - lässt sich hier verhältnismässig leicht durchsetzen.

In thermischer Beziehung sind beide Entwürfe gleichwertig, wie sich aus den Flächenbelastungen ergibt. Der Öelkanal innerhalb der 121 und 400 kV-Wicklung ist von 6 auf 8 mm vergrößert, um durch Verringerung des Widerstandes einen schnelleren Öel-Durchgang zu ermöglichen.

Der Öelkessel wird aus Transport- und Montagegründen dreiteilig ausgeführt.

Abmessungen des Transformators siehe Bild 12.

3. Zwei bewickelte stehende Schenkel

38,5 und 121 kV-Wicklung mit verstürzter Wicklung. Berechnungs-Entwurf X.

Die Lagenwicklung hat zwei unangenehme Eigenschaften: einerseits ist der Kupferfüllfaktor kleiner als der von Scheibenspulen-Wicklungen; andererseits ist die Fabrikation der Spulen durch das Umreißen der Lagenisolation an den Spulen-Enden zeitraubend und teuer. Es sollte hier festgestellt werden, welche Vorteile der unter B 1 ausgelegte Transformator bei Ausführung mit Scheibenspulen bietet.

Vorweg ist festzustellen, dass sowohl die Scheibenspulen- als auch die Lagenwicklung sich stossfest bauen lassen. Was bei der einen durch starke Isolation erreicht wird, wird bei der anderen durch geschickte Anordnung der Wicklung erzielt. In Bezug auf Stossspannung sind also beide Spulenarten hierbei gleichwertig.

Die Ausführung der Unter- und Mittelspannungsspule als verstürzte Wicklung bietet keine Schwierigkeiten. Der radiale Isolationsabstand bei 121 kV, der bei Lagenwicklung wegen des völlig homogenen Feldes im Streukanal nur 30 mm beträgt, ist mit Rücksicht auf die zwischen den Scheibenspulen liegenden und in

den Isolationskanal hineinreichenden Abstützungen auf 42 mm erweitert worden. Die Ausführung der Oberspannungswicklung als Scheibenspulen-Wicklung wird jedoch, wie das Bild 13 zeigt, unwirtschaftlich, da nunmehr der Isolationsabstand zwischen der 121 und 400 kV-Wicklung für die volle Spannung bemessen werden muss. Um den Vorteil der starren Erdung des 400 kV-Nullpunktes für den Aufbau voll auszunutzen, muss die Oberspannungswicklung als Lagenwicklung ausgeführt werden und der Nullpunkt der 121 kV-Wicklung gegenüberliegen.

Es bleibt also nichts weiter übrig, als die 38,5 kV- und die 121 kV-Wicklung verstärkt und die 400 kV-Wicklung mit Lagen auszuführen. Dadurch kommt der Vorteil der Scheibenspulenwicklung gegenüber der Lagenwicklung nicht mehr voll zur Auswirkung. Als Ergebnis bleiben 25 mm im Mittenabstand und 100 mm Schenkellänge als Einsparnis übrig.

Das axiale Pressen und Verspannen von Spulen verschiedener Ausführungsart sollte vermieden werden, da es fabrikatorisch sehr schwer ist, alle Spulen gleichmässig zu pressen.

Die angegebene Einsparung am Kern wird also durch einen schwierigen Aufbau der Wicklung mehr als aufgewogen. Der Transformator mit verstärkter Unter- und Mittelspannungswicklung bietet daher gegenüber dem unter B 1 genannten Entwurf IX keinen Vorteil und scheidet für die weiteren Betrachtungen aus.

4. Ein bewickelter liegender Schenkel mit verstärkter Wicklung.

Berechnung-Entwurf I.

Bei der Auslegung des ersten Entwurfes für die 400 kV-Transformatoren war von den in Bild 3 angegebenen technischen Daten noch nichts bekannt. Daher erfolgte die Auslegung mit den im Entwurf I angenommenen Daten. Mit Rücksicht auf die Transportfrage wurde ein Kern mit liegenden Schenkeln gewählt und nur

ein Schenkel bewickelt.

Der Kern sollte, wie üblich, aus 0,35 mm starken, legierten Blechen hergestellt werden. Joch und Schenkel wurden zusammen geschichtet. Die Schenkellänge beträgt 5000 mm. Das Gewicht der Wicklung muss von dem Schenkel aufgenommen werden. Die mechanische Beanspruchung des Schenkels durch dieses Gewicht ist also ausserordentlich hoch, die Betriebssicherheit dieses Kernes ist also nicht gross.

Die Wicklungen aller 3 Spannungen werden verstürzt ausgeführt. Der radiale Abstand der 400 kV-Wicklung von der 110 kV-Wicklung ist für die volle Prüfspannung von 800 kV vorzusehen. Im Jochabstand wirkt sich die starre Erdung durch den geringen Jochabstand aus. Die Überspannungsspule wird in zwei parallele Zweige aufgelöst. Der Eingang befindet sich in der Mitte. Die Spannung baut sich nach beiden Seiten hin auf null ab. Da die Windungsspannung 250 Volt beträgt, ergibt sich für jede Spule bei 7 Windungen eine Spulenspannung von $7 \cdot 250 = 1750$ Volt. Um die Spannung zwischen zwei benachbarten Spulen nicht zu hoch werden zu lassen, musste auf Doppelspulen verzichtet werden. Die Spulen werden daher aus Einzelspulen hergestellt und einzeln verlötet. Die Ausführung ist zeitraubend und teuer.

Die axiale Pressung der Spule ist nicht mit der gewünschten Sicherheit möglich. Bei Wärmeschwankungen wird die Spule - da das Kupfergewicht eine starke Vertikalkomponente bildet - lose und sich nach unten verlagern. Bei den grossen Abmessungen der Spule ist die lineare Ausdehnung des Kupfers infolge betriebsmässiger Erwärmung nicht mehr zu vernachlässigen. Der mittlere Durchmesser der OS-Spule beträgt 1857 mm. Der lineare

Ausdehnungskoeffizient für Kupfer bei Temperaturen von 0 bis 100°C beträgt 1,65 mm/m. Der Umfang verändert sich infolgedessen bei Temperaturerhöhung von 100°C auf

$$1,857 \cdot 3,14 \cdot 1,65 = 10 \text{ mm},$$

was einer Erhöhung des Durchmessers um $\frac{10}{3,14} = 3 \text{ mm}$ entspricht.

Es ist nicht anzunehmen, dass die Spulenpressung die mit dieser Ausdehnung verbundene Bewegung der Spule verhindern kann. Der Spulenaufbau wird also lose und bricht wahrscheinlich schon beim nächsten Einschaltstromstoss zusammen.

In thermischer Beziehung ist die liegende Spule ebenfalls sehr ungünstig. Das durch die Erwärmung aufsteigende Öl kann nicht überall abfließen, sondern wird sich in den Spulenstanzstücken fangen und zu lokalen Temperaturerhöhungen führen. Da diese Stellen erst nach völliger Durchkonstruktion festzustellen sind, ist eine frühzeitige Berechnung der maximalen Kupfertemperatur nicht möglich.

Die Kühlung selbst kann nur zwangsweise mittels Öldurchpumpen erzielt werden. Die Spulen sind also völlig abzuschliessen, auf jede natürliche Wärmeabführung durch thermischen Auftrieb muss daher verzichtet werden. Beim Aussetzen der Kühlanlage ist der Transformator sofort ausser Betrieb zu nehmen, da keinerlei natürliche Wärmeabgabe erfolgen kann.

Die aktiven Gewichte des Transformators sind sehr hoch, so dass dieser Entwurf auch in wirtschaftlicher Beziehung nicht befriedigen kann.

Es ist daher selbstverständlich, dass dieser Entwurf nach obigen Feststellungen nicht weiter bearbeitet wurde und für weitere Betrachtungen auszuschneiden hat. Die Abmessungen gehen aus dem Bild 1. hervor.

- 34 -

5. Zwei bewickelte liegende Schenkel

mit verstärkter Wicklung.

Berechnungs-Entwurf II.

Die römische Ziffer der Berechnungs-Entwürfe zeigt die chronologische Folge der Auslegungen des Transformators an. Da ein geeigneter Kern mit reduzierter Bauhöhe nicht vorhanden war, wurde trotz schwerster Bedenken gegen den liegenden Kern dieser nochmals für die Ausführung in Betracht gezogen. Der Berechnungs-Entwurf II zeigt den gleichen Transformator wie der Entwurf I. Natürlich sind die gleichen Nachteile für Kern, Wicklung, Kühlung und dynamische Beanspruchung vorhanden. Durch die Bewicklung beider Schenkel wurde zwar durch Herabsetzung der aktiven Gewichte die Wirtschaftlichkeit etwas erhöht, gleichzeitig aber die Gefahr der thermischen Überlastung durch das Vorhandensein zweier Wicklungen verdoppelt. Die vorgesehene Isolation nach der Kesselwand und der Anschluss der 400 kV-Durchführung sind mehr als zweifelhaft. Es mag hier noch erwähnt werden, dass alle Kerne mit liegendem Schenkel zunächst normal, d.h. mit stehenden Schenkeln aufgebaut werden müssen. Bei dem Gewicht von ca 100 t bedeutet dies für die Fabrikation eine beträchtliche Erschwerung, die die Gefahr der Beschädigung der Wicklung in sich einschliesst. Auch dieser Entwurf musste, wie der Entwurf I, abgelehnt werden.

Die Abmessungen zeigt das Bild 15.

Damit ist die Reihe der Entwürfe mit starr verortetem Nullpunkt abgeschlossen.

6. Transformatoren mit vollisoliertem Nullpunkt.

1. Zwei bewickelte liegende Schenkel mit verstärkter Wicklung.

Berechnungs-Entwurf IV.

Der Entwurf stellt eine Alternative zu dem Berechnungs-Entwurf

11

SECRET

- 35 -

dar. Kern, Wicklung, thermische Verhältnisse und fabrikatorische Schwierigkeiten sind die gleichen wie in dem Entwurf II.

Der Überspannungs-Nullpunkt ist voll isoliert. Die dadurch bedingte Vergrößerung des Kernes erhöht das Gewicht des aktiven Eisens um 10% auf ca 66 t.

Die Hauptisolation ist so ausgeführt, dass die äusseren Windungen der 121 kV-Wicklung direkt mit Isolationspapier abgeschirmt werden. Der Kühlkanal wurde von aussen nach innen, und zwar zwischen letzte und vorletzte Windung verlegt. Ebenso wurde die erste Windung der Überspannungsspule direkt auf Isolationspapier gewickelt, während der Ölkanal zwischen erster und zweiter Windung liegt. Es liegt dieser Anordnung der Gedanken zugrunde, das Öl an den Stellen starker Feldstärke sowie Glüherscheinungen im Öl zu vermeiden. Diese Ausführung hat sich im Laboratorium als sehr günstig erwiesen und ist durch die Praxis bestens bestätigt worden (s. Spulenanordnung im Berechnungs-Entwurf IV sowie Zeichnungs-Anlage 4).

Die Isolation der Drähte, ganz besonders aber die Isolation von Überspannungswicklung gegen den Kasten sowie der Durchbruch durch die Isolation zum Anschluss der 400 kV-Durchführungen sind auf Grund theoretischer Überlegungen und praktischer Erfahrungen mit 220 kV-Wicklungen angenommen. Die Richtigkeit dieser Werte muss erst noch durch entsprechende Versuche unter Beweis gestellt werden. Die konstruktive Lösung dieser Frage steht noch aus. Es sind jedoch beträchtliche Schwierigkeiten zu erwarten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die für den Fern mit liegendem Schenkel genannten Schwierigkeiten hier noch durch besonders ungünstige Isolationsprobleme beträchtlich vermehrt

werden.

Da dieser Entwurf bezüglich Nullpunkterdung nicht den technischen Bedingungen entspricht, scheidet er für die weiteren Untersuchungen aus. Die Kernabmessungen gehen aus Bild 16 hervor.

2. Zwei bewickelte liegende Schenkel mit verstärkter doppelkonzentrischer Wicklung.

Berechnungs-Entwurf V.

Dieser Entwurf unterscheidet sich von dem vorhergehenden nur durch die doppelkonzentrische Anordnung der Wicklung. Die doppelkonzentrische Wicklung gibt kleinere Kernabmessungen und damit geringeres Gesamtgewicht. Das gesamte aktive Material verändert sich gegenüber dem einfach-konzentrischen Aufbau um 6 %.

Hinsichtlich des Kernes bestehen die Bedenken bezüglich mechanischer Festigkeit wie bei den anderen Ausführungen mit liegenden Schenkeln.

Die Wicklungen liegen nach der Hauptisolation hin fest an Isolierpapier. Der Kühlkanal muss also in die Wicklung hineinverlegt werden. Dies bedingt, besonders bei der Oberspannungswicklung, eine teure Fabrikation. Die Oberspannungswicklung wird an beiden Seiten von Isolationspapier eingehüllt. Der letzte Rest einer natürlichen Wärmeabgabe verschwindet. Die Wärme kann der Wicklung nur durch zwangsweises Durchpumpen des Oeles entzogen werden. Die Oelführung innerhalb der Oberspannungsspule ist besonders zu studieren, um lokale Erwärmungen zu vermeiden.

Der im Vorhergehenden gezeigte Entwurf benötigte zum Kasten hin eine Isolation, die der Hauptisolation völlig gleichkam. Die Isolation umschloss beide Schenkel gemeinsam, wobei versucht wurde, zwischen beiden Schenkeln den Äquipotentiallinien zu folgen.

Damit sollte erreicht werden, dass die Feldstärke stets senkrecht auf dem Isolationspapier stand. Die Anordnung dieser Isolation bereitete infolge der besonderen geometrischen Form beträchtliche Schwierigkeiten, ohne dass es gelang, mit der Isolation genau den Äquipotentiallinien zu folgen. Theoretisch einwandfrei erschien die Lösung erst, wenn die Isolation durchs Fenster hindurchgeführt wurde, also koaxiale Zylinder - wie die Hauptisolation - eingebaut wurden. Wenn diese Isolation aber vorhanden war, konnte mühelos die äussere 121 kV-Wicklung aufgebracht werden, wodurch sich völlig homogene radiale, elektrostatische Felder ergeben. Die Isolation der Wicklung ist noch durch einen Versuch zu klären.

Da Kerne mit liegendem Schenkel zur Ausführung ungeeignet sind und der vollisolierte Nullpunkt nicht den technischen Bedingungen entspricht, wurden die Arbeiten an diesem Entwurf eingestellt.

Die Kernabmessungen zeigt das Bild 17. Spulenaufbau und Isolation gehen aus der Zeichnungs-Anlage 5 hervor.

3. Zwei bewickelte liegende Schenkel mit einfach-konzentrischer Lagenwicklung.

Berechnungs-Entwurf VIII.

Dieser Entwurf zeigt den unter C 1) (Entwurf IV) berechneten Transformator in Ausführung mit Lagenwicklung und zeigt alle Nachteile des Transformators mit liegendem Schenkel. Der Entwurf gibt lediglich den klassischen Beweis für die allgemeine Behauptung, dass die Lagenwicklung einen schlechten Kupferfüllfaktor hat (Kupferfüllfaktor ist das Verhältnis des gesamten Kupferquerschnittes aller Wicklungen zu dem Fensterquerschnitt des Kernes).

Der Isolationsabstand wurde auf 98 mm gegenüber einem Abstand von 151,5 mm bei der verstärkten Wicklung herabgesetzt. Die Begründung liegt in dem durch die Lagenwicklung hervorgerufenen völlig homogenen Feld. Allerdings muss dieser Isolationsabstand durch Versuche noch bestätigt werden.

Aus den bereits angegebenen Gründen wurde auch dieser Entwurf abgelehnt.

Die Transformatoren-Abmessungen gehen aus Bild 18 hervor.

4. Zwei bewickelte stehende Schenkel mit einfach-konzentrischer verstärkter Wicklung.

Berechnungs-Entwurf VI.

Nachdem die Unmöglichkeit der Ausführung des 400 kV-Transformators mit liegendem Schenkel durch die vorhergehenden Untersuchungen bewiesen war, konzentrierten sich die weiteren Arbeiten auf eine Ausführung mit stehendem Schenkel. Durch die Erfindung des Kernes mit verbreiterten Jochen war die Voraussetzung zu erfolversprechenden Arbeiten gegeben. Die erste Ausführung war der hier behandelte Entwurf. Die Ausführung mit vollisoliertem Nullpunkt liess von der gesamten Bauhöhe von 3850 mm nur 1750 mm für die Wicklung übrig. Wegen der verstärkten Wicklung mit ihren vorstehenden Kanten waren sowohl für die Hauptisolation als auch für die Jochisolation die vollen Abstände nötig. Der Transformator wird in jeder Richtung hoch beansprucht. Die Bauhöhe wurde so hoch, dass das untere und obere Joch entsprechend dem Bahnprofil abgeschrägt werden mussten. Die Eisen- und Kupfergewichte stehen in einem schlechten Verhältnis zueinander. Das Gesamtgewicht des aktiven Teiles ist zu hoch. Der Spulendurchmesser ist so gross, dass für die Isolation zum Kessel nur 150 mm übrigbleiben. Es ist also erforderlich,

die zwischen Ober- und Unterspannungsseite liegende Isolation aussen noch einmal aufzubringen. Der gesamte Entwurf ist für das vorhandene Lademass zu gross und musste für die weitere Bearbeitung ausscheiden. Die Abmessungen zeigt das Bild 10.

5. Zwei Einphasen-Transformatoren mit stehendem Schenkel und verstärkter Wicklung.

Berechnungs-Entwurf VII.

Das Bestreben, die Abmessungen des unteren Transformators zu verringern, führte zu einer wirtschaftlich untragbar ist. Das ist auch zu erwarten, da der Preis der Transformatoren je kVA mit steigender Leistung geringer wird. Die Oberspannungswicklung aller 4 Schenkel ist parallel geschaltet. Die Mittelspannungswicklung ist über alle 4 Schenkel in Serie geschaltet, während die Unterspannungswicklung über 2 Schenkel in Serie und über beide Transformatoren parallel geschaltet ist. Die verstärkte Wicklung und der vollisolierte Nullpunkt bedingen eine Hauptisolation von 152,5 mm (Abstand zwischen Ober- und Mittelspannung).

Der Kern ist, wie bei allen Ausführungen mit stehendem Schenkel, mechanisch fest und bietet fabrikatorisch keine Schwierigkeit. Die Wicklung ist thermisch in Ordnung. Der Anschluss der 400 kV- Durchführungen ist schwierig und noch nicht gelöst.

Aus wirtschaftlichen Gründen und wegen des vollisolierten Nullpunktes wurde dieser Entwurf nicht weiter bearbeitet. Die Abmessungen gehen aus Bild 20 hervor.

- 40 -

 **SECRET**

6. Fünfschenkelkern mit drei bewickelten Schenkeln für Einphasenbetrieb.

Berechnungs-Entwurf VII B.

Um alle Möglichkeiten für den gewünschten 100 MVA-Transformator mit 400 kV-Spannung zu erschöpfen, wurde hier ein Fünfschenkelkern für die Auslegung zu Grunde gelegt. Der Vorteil dieser Ausführung liegt - wie bei dem vorhergehenden Entwurf mit 4 Schenkeln - darin, dass die Breite des Transformators reduziert und gleichzeitig die reichlicher zur Verfügung stehende Baulänge (parallel zu den Schienen) voll ausgenutzt wird. Aber auch hier ist der Vorteil teuer genug erkauft. Die drei parallelschalteten Schenkel brauchen jeder die volle Isolation, was immerhin für Wicklung und Isolation 50 % Mehrpreis bedeutet (gegenüber zwischenschinkliger Ausführung). Das Eisengewicht ist ausserordentlich hoch. Das Missverhältnis zwischen Eisen- und Kupfergewicht zeugt von einer unwirtschaftlichen Auslegung.

Der Anschluss der 400 kV-Durchführungen an die Wicklungen ist kaum möglich, da die Aussenschenkel hindern im Wege stehen.

Die Arbeiten an dieser Ausführung wurden mit dem Berechnungs-Entwurf abgeschlossen. Abmessungen nach Bild 21.

D. Zusammenfassender Vergleich der Transformatoren-Entwürfe.

Der besseren Übersicht wegen sind in Bild 22 die in diesem Bericht behandelten Transformatoren-Entwürfe zusammengestellt. Da laut technischen Bedingungen der Nullpunkt des 400 kV-Netzes starr geerdet werden soll, fallen alle Entwürfe

- 41 -

mit vollisoliertem Nullpunkt fort. Von den mit starr verdrängtem Nullpunkt ausgeführten Entwürfen sind die mit liegenden Fernen ausgerüsteten Transformatoren für die Ausführung nicht geeignet. Die Begründung sei hier nochmals zusammengefasst:

Der Kern ist infolge seiner grossen Schenkellänge den mechanischen Beanspruchungen nicht gewachsen.

Die Wicklung kann nur ungenügend gepresst werden und wird wahrscheinlich schon bei Temperaturschwankungen lösen. Die Kurzschlussfestigkeit ist daher nicht gewährleistet. Die thermischen Verhältnisse in der Wicklung sind noch völlig ungeklärt, die Temperaturverteilung unbekannt. Nur soviel lässt sich übersehen, dass das Kühlmittel mittels Pumpen durch die Wicklung gepresst werden muss. Beim Aussetzen des Ölumlaufes muss die Last sofort vom Transformator genommen werden. Der Anschluss der Oberspannungsdurchführung an die Wicklung ist sehr schwierig. Damit fallen auch die unter B 4 und B 5 beschriebenen Entwürfe aus.

Der Entwurf B 3 ergibt beim Pressen der Coilen grosse Schwierigkeiten. Das Pressen von Spulen verschiedener Art - verstärkte und Lagerwicklung - ist wegen des verschieden hohen Prozentsatzes an Isolationsmaterial mehr Gefühlssache als eine Rechenaufgabe. Die innen liegenden verstärkten Spulen können während des Pressens nicht beobachtet werden. Es besteht also Gefahr, dass die inneren Spulen nicht genügend festgepresst sind und sich beim Kurzschluss bewegen. Die Folge ist ein Zusammenbruch der Wicklung. Es ist daher auch dieser Entwurf als nicht kurzschlussfest abzulehnen.

Für die Ausführung bleibt nur der Berechnungs-Entwurf B 1 und B 2 übrig. Beide unterscheiden sich nur durch die Transportmöglichkeit. Bei den Beschreibungen dieser Entwürfe ist das Notwendige

werden. Hier soll nochmals auf Grund 30 jähriger Erfahrung den Transformator für demontierten Versand der Vorzug gegeben werden.

Es wird also die Auslegung nach Berechnungs-Entwurf B 2 zur Ausführung empfohlen.

4. Schlussbetrachtung.

Auf Grund der durchgeführten Projektierungsarbeiten können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden.

- 1.) Die Ausführung eines Einphasen-Leistungs-Transformators 100/100/33 MVA für 400/121/38,5 kV als Wandertransformator scheint durchaus möglich, jedoch ist für diese Ausführung ein Spezialkern mit herabgesetzter Höhe des unteren Joches erforderlich. Die Frage der Prüfspannung sowie der Isolation sind noch eingehend zu studieren.
- 2.) Bei dem Kern mit herabgesetzter Höhe des unteren Joches handelt es sich um eine vollkommen neuartige Konstruktion (Erfindung), die praktisch noch nicht erprobt wurde; von der Fabrik wird z.Zt. ein Versuchs-Modell im Masstab 1 : 5 eines solchen Kernes zwecks Nachprüfung der theoretischen Überlegungen bezüglich Flussverteilung angefertigt.
- 3.) Auf der 110 kV-Seite ergibt sich bei einer Drehstromgruppe von 300 MVA ^{eine} Abschaltleistung von 2400 MVA. Die vorhandenen Schalter 110 kV reichen für derartige Abschaltleistungen aus für 2 parallele Gruppen mit 600 MVA die erforderlichen Schalter noch nicht hergestellt werden ist erforderlich
entweder
entsprechende Drosselspulen auf der 110 kV-Seite aufzustellen, was jedoch mit Rücksicht auf die Anschaffungs (Kapital)- und Betriebskosten (grosse Verluste) sehr ^{schwer} zu verwirklichen wäre.

- 43 -

25X1A

oder

die Konstruktion für 110 kV-Schalter grosser Abschaltleistung und für Apparate 110 kV erhöhter dynamischer und thermischer Festigkeit ausarbeiten.

- 4.) Ein Transformator mit einem Übersetzungsverhältnis 400/220/38,5 kV, bei welchem es möglich wäre, die unter Punkt 3.) genannten Nachteile zu umgehen, kann als Wandertransformator nicht ausgeführt werden, weil das vorgeschriebene Bahnprofil bei gleichzeitigem Vorhandensein von 400 und 220 kV-Durchführungen nicht eingehalten werden kann.
- 5.) Die unter Punkt 3.) und 4.) gemachten Überlegungen, sowie auch der Umstand, dass der Wandertransformator im Vergleich mit einem Transformator für demontierten Versand teurer und komplizierter (demnach auch weniger betriebssicher) ausfällt, gestatten die Schlussfolgerungen, dass ein normaler Transformator (für demontierten Versand und Zusammenbau an Ort und Stelle) technisch die richtigere Lösung darstellt.
- 6.) Wenn man von einem Transformator für Zusammenbau an Ort und Stelle ausgeht, so ist es erforderlich, die Frage der Ausführung des Transformators (Einphasen- oder Dreiphasentransformator), sowie die Leistung zu überprüfen.

Die in den Anlagen 1 und 2 beigeblauten Berechnungen zeigen, dass es durchaus zweckmässig ist, die Fragen der Ausführung und der Leistung zu diskutieren.

- 44 -

SECRET

- 44 -

Anlage 1Vergleich von Einphasen- und Drehstrom-Transformatoren.

Die GröÙe der Leistung hat sich nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu richten und soll zunächst untersucht werden. Als maximale Leistung einer Drehstrom-Übertragung mit 600 kV Spannung werden bei Verwendung von Bündelleitern von verschiedenen Stellen übereinstimmend 600 MVA angegeben, für die hier übliche Drehstrom-Doppelleitung also 1200 MVA. Jede Leitung besitzt eine einspeisende und abnehmende Schaltanlage für 600 MVA. Für Reservehaltung sind bei der speisenden sowie bei der abnehmenden Station 25 %, d.h. 300 MVA Leistung erforderlich. Bei einer Aufteilung in Einphasen-Gruppen von je 300 MVA sind je Drehstromleitung $6 + 6 + 3 = 15$ Einphasen-Transformatoren mit je 100 MVA Leistung nötig. Unter gleichen Voraussetzungen lässt sich die Leistung in 5 Drehstrom-Transformatoren mit je 300 MVA aufgliedern.

Die Kosten für die Transformatoren jeden Drehstromsystems sind folgende:

a) Einphasen-Transformatoren 100 MVA:

Kosten je Trafo = K

K = 1300000 RM

Kosten für 15 Transformatoren = 15 · K

b) Drehstrom-Transformatoren 300 MVA:

Der Einphasen-Transformator mit 2 bewickelten Schenkeln

kostet = K

Der Drehstrom-Transformator, der daraus durch Einfügen des dritten Schenkels gebildet, kostet 1,5 · K

Die Leistung ist dabei 150 MVA

300 MVA, d.h. die doppelte Leistung, kosten

$$1,68 \cdot 1,5 \cdot K = 2,52 \cdot K$$

dennach die 5 Drehstrom-Transformatoren von je 300 MVA

- 45 -

$$5 \cdot 2,52 \cdot K = 12,6 \cdot K$$

Die Uebertragung von 600 MVA Leistung mittels Drehstrom-Transformatoren von 300 MVA beträgt gegenüber den Einphasentransformatoren

$$\frac{12,6}{15} \cdot 100 = 84 \%$$

d.h. bei einer Drehstrom-Doppelleitung ist an den Transformator ein Betrag von ca. 6 Millionen Mark einzusparen.

Eine weitere Verlustquelle sind die Eisenverluste. Dieselben betragen für einen Einphasen-Transformator von 100 MVA = 180 kW, bei dem zugrunde gelegten Doppel-Drehstromsystem

$$\text{also } 24 \cdot 180 \dots\dots\dots = 4320 \text{ kW}$$

Für einen Drehstrom-Transformator 300 MVA betragen die Eisenverluste 400 kW und für die Drehstrom-Doppelleitung

$$8 \cdot 400 = 3200 \text{ kW.}$$

Die eingesparten Eisenverluste belaufen sich demnach auf 1140 kW. Für die kW/Std. ist bei 7000 kWh ein Aufwand von 0,4 kg Kohle erforderlich. Es werden also jährlich

$$24 \cdot 365 \cdot 1140 \cdot 0,4 = 4000 \text{ (000 kg)}$$

eingespart. Dieser jährliche Gewinn von 4000 t Kohle bedeutet immerhin eine beträchtliche Minderung der Betriebskosten.

Anlage 2Oberer Leistungsgränze für Transformatoren 400 kV bei einfach konzentrischer Ausführung.

Bei der Festlegung der Leistung für Transformatoren ergibt sich die Frage:

Bestehen gegen die Ausführung von Transformatoren mit 300 MVA-Leistung Bedenken oder lässt sich die Leistung beliebig nach oben steigern?

Der Leistungssteigerung der Transformatoren wird nur durch die Kurzschlusskräfte ein Ziel gesetzt. Die Grenze ist durch die beim Kurzschluss auftretende Radial-Kraft gegeben, die die innere Spule zusammendrückt und die äussere Spule durch radial von innen nach aussen wirkende Kräfte zu zer Sprengen droht. Die innere Spule wird gegen den Kern fest abgestützt; die hier auftretenden mechanischen Beanspruchungen (Druckkräfte) werden mühelos aufgenommen. Anders verhält es sich mit den auf die äussere Spule wirkenden Kräften. Diese beanspruchen das Wickelkupfer direkt auf Zug. Bei einer Bruchfestigkeit von 2200 kg/cm^2 soll die Beanspruchung durch den Stoss-Kurzschlussstrom 1100 kg/cm^2 nicht übersteigen.

Die Grösse der Radialkraft beträgt

$$F_r = \frac{160 \cdot N_{sp} \cdot x^2}{U_s \cdot f \cdot S} \quad (\text{to})$$

Es bedeuten:

N_{sp} = Leistung der betrachteten Spule in kVA

α = Korrekturfaktor = 1,93 (Abhängig von $\frac{U_s}{U_r}$)

U_s = Strossspannung in kV

- 67 -

 f = Frequenz S = regulierter Strahlstrom

Bei einer Leistung von 100 MVA für einen Schenkel mit $u_s = 13,15$ kV sowie $S = 13,75$ bei einer Frequenz von 50 ergibt sich eine Radialkraft von

$$P_r = \frac{160 \cdot 100000 \cdot 1,95^2}{13,15 \cdot 50 \cdot 13,75} = 6000 \text{ kg.}$$

Die Kupferbeanspruchung wird

$$K_z = \frac{P_r}{2 \cdot \pi \cdot q \cdot w} \quad q = \text{Drehmoment} \\ w = \text{Windungszahl}$$

$$K_z = \frac{6 \ 600 \ 000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,36 \cdot 561} = 800 \text{ kg/cm}^2$$

Da es sich dabei um den Mittelwert handelt, wird die innerste Lage ungefähr doppelt so hoch beansprucht. Die maximale Beanspruchung der innersten Lage beträgt also 1600 kg/cm² und liegt damit an der Grenze des Zulässigen.

Die in Europa bisher für Hochspannungsnetze bevorzugte Betriebsweise, mit einem über Petersenwindungen geerdeten Sternpunkt zu führen, ist bei diesem Projekt aufgegeben worden. Damit fallen auch die durch die häufigste Fehlerform - den einphasigen Erdschluss hervorgerufenen Spannungserhöhungen auf den gesunden Phasen fort. Die Korona-Verluste halten sich in bescheidenen Grenzen. Die Phasenspannung beträgt 231 kV gegen Erde. Warum ist noch eine Prüfspannung von 800 kV erforderlich? Es sollte doch eine geringere Prüfspannung genügen. Das stärkste Argument dagegen wäre die bei

- 68 -

- 48 -

plötzlichen Lastabwurf auftretende Spannungserhöhung auf 700 kV. Dagegen aber könnte man sich durch besondere Massnahmen schützen. Eine Lösung wäre die Kupplung der Leistungsschalter an beiden Enden der Leitung, so dass gleichzeitige Auslösung erfolgt.

Die Frage geeigneter Leistungsschalter für die 110 kV-Seite wäre auch noch zu klären.

AMR/TNO/Th, 6.3.6.1969

Anlagen:

22 Bilder 1 bis 22,

13 Berechnungs-Entwürfe:

I, II, III, IIa, IV, V, VI,

VII, VII B, VII C, VIII, IX, X.

5 Zeichnungen, Anlage 1 bis 5.